

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Systém elektronického informačního displeje.**  
**System of the Electronic Information Display.**

**2014**

**Jan Dedek**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Dedek**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika  
Téma: **Systém elektronického informačního displeje**  
**System of the Electronic Information Display**

### Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou světla, osvětlení, fyziologií a vidění lidského oka, informačních displejů, jejich topologií a konstrukcí stavby.
2. Návrh a realizace soustavy informačního displeje, komunikačního a aplikačního programového vybavení pro vzdálenou správu.
3. Sestavení soustavy informačního displeje, realizace měřicího systému experimentu a realizace experimentu prokazujícího pokročilé vlastnosti a funkčnost systému.
4. Zhodnocení výsledků řešení a experimentů.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] FUJITSU. *Fundamentals of Liquid Crystal Displays – How They Work and What They Do*. Fujitsu Microelectronics America, Inc., c2006. Dostupné z: <http://us.fujitsu.com/micro>  
[2] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 1. vyd. Praha: Grada, 2004, 93 s., [8] s. obr. příl. ISBN 80-247-0786-1  
[3] MATOUŠEK, David. *C pro mikrokontroléry Atmel AT89S52*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2007, 239 s. ISBN 978-80-7300-215-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bohumil Horák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 5. května 2014

  
.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval doc. Ing. Bohumilu Horákovi PhD. za vedení při vytváření této bakalářské práce. Ing. Kristýně Friedrichkové, za odbornou pomoc a konzultace daleko nad rámec jejích povinností. Rád bych také poděkoval Matěji Golembiovskému za intelektuální a materiálovou pomoc s vytvářením této práce v jejích začátcích a Tomáši Dočkalovi za edukaci v oblasti programování v jazyce C. Ing. Vítu Otevřelovi děkuji za program pro Android. Děkuji rovněž Ing. Zbyňkovi Carbolovi za realizaci experimentu ověřující světelné vlastnosti displejů, kterou dělal ve svém volném čase nad rámec svých povinností.

## **Abstrakt**

Práce se zabývá vytvořením světelného ukazatele skóre pro rekreační sporty. Světelná tabule obsahuje umělou inteligenci, která dokáže samostatně vyhodnocovat pravidla zvolené hry, ukazatel tedy bude multifunkční a po spuštění bude možno zvolit typ hry. Prozatím se uvažuje o čtyřech integrovaných hrách: Volejbal, Nohejbal, Petangue a doplňková funkce zápisník.

V komerční sféře se takovéto světelné tabule cenově pohybují v řádech desetitisíců českých korun. Navíc je nutno, aby takovou tabuli obsluhoval operátor. U světelné tabule, která je objektem této práce, se uvažuje s dálkovým ovládáním velikosti klíčenky s možností plné ovladatelnosti světelné tabule. Koncepce počítá s obsluhou této klíčenky, a skrze ni se světelnou tabulí, v osobě jednoho z hráčů, v čemž je tedy výhoda oproti komerčním projektům.

V této práci počítám s vývojem vlastních zobrazovacích jednotek, LED displejů a s konstrukcí odolného a estetického hardwaru.

## **Klíčová slova**

Světelná tabule, ukazatel, zobrazovací jednotky, microchipy Atmel, atmega 168, časový multiplex, integrované obvody 4511, spínaný zdroj, programovací jazyk C, Programovací jazyk assembler, komunikace přes Bluetooth

## **Abstract**

The subject of this thesis is making a light board for recreational sports. The light board contains an artificial intelligence, which is capable of evaluating the rules of a chosen game. The light board is multifunctional and after each start provides a selection of game types. Currently the following game modes are available: Volleyball and its variations played in legs, Petanque and a notepad function.

In the commercial sphere, the cost of this light board can be calculated to tens of thousands, although the actual cost is relative to the functionality given to the board controller. The lighting board is controlled by a small controller that can be easily handled by one of the players; this feature is one of the subjects of this work and places it at an advantage over other score boards currently available on the market.

This thesis will also explore the development of the board's LED display and its tough, esthetic exterior.

## **Key words**

Light boards, indicator, imaging unit, Atmel Microchip, Atmega 168, time multiplex, integrated circuits 4511, switching power supply, programming language C, programming language Assembler, Bluetooth communication

# Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
F	Hz	Frekvence
I	A	Proud
P	W	Výkon
U	V	Napětí

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
<b>BCD</b>	Binary Coded Decimal
<b>CRT</b>	Catode Ray Tube
<b>DPS</b>	Deska Plošných Spojů
<b>EAGLE</b>	Easily Applicable Graphical Layout Editor
<b>EMC</b>	Electro Magnetic Compatibility
<b>HMI</b>	Human Mashine Interface
<b>HW</b>	Hard Ware
<b>I/O</b>	Inputs/Outputs
<b>IO</b>	Integrovaný Obvod
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display
<b>LED</b>	Light Emitting Diode
<b>OLED</b>	Organic Light Emitting Diode
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation
<b>SMD</b>	Surface Mount Device
<b>SW</b>	Soft Ware

# Obsah

Úvod.....	- 10 -
1 Historie HMI .....	- 11 -
1.1 Historie předání informace .....	- 11 -
1.2 Historie zobrazovacích tabulí pro sport.....	- 11 -
2 Podmínky sdělování informace přístroj - člověk .....	- 15 -
2.1 Světlo, osvětlenost, barva světla.....	- 15 -
2.2 Setrvačnost oka .....	- 15 -
2.3 Blikání displejů ve verzi 1 .....	- 16 -
2.4 Regulace jasu ukazatele .....	- 18 -
2.4.1 Rozbor situace .....	- 18 -
2.4.2 Možnosti řízení jasu .....	- 19 -
2.4.3 Automatická regulace.....	- 19 -
3 Obecné vlastnosti .....	- 20 -
3.1 Vytipování vlastností.....	- 20 -
3.2 Možnosti realizace zobrazovačů .....	- 20 -
3.2.1 Elektromechanické zobrazovače .....	- 20 -
3.2.2 Sedmisegmentové displeje .....	- 20 -
3.2.3 LED maticové displeje .....	- 21 -
3.2.4 LCD .....	- 21 -
3.2.5 OLED .....	- 21 -
3.2.6 Výroba vlastních zobrazovačů .....	- 21 -
3.3 Možnosti použití řídicí elektroniky .....	- 22 -
3.3.1 Realizace na bázi mikropočítače .....	- 22 -
3.3.2 Realizace na bázi počítače.....	- 22 -
3.3.3 Realizace pomocí programovatelných logických automatů (PLC) .....	- 23 -
3.4 Elektromagnetická kompatibilita .....	- 23 -
4 Realizace práce.....	- 25 -
4.1 Blokové schéma soustavy .....	- 25 -
4.1.1 Blok řídicího systému a podpůrných obvodů.....	- 26 -
4.1.2 Bloky řadičů displejů.....	- 27 -



4.1.3	Bloky displejů.....	- 28 -
4.1.4	Bloky zobrazovačů .....	- 28 -
4.1.5	Blok přijímací jednotky .....	- 29 -
4.1.6	Blok Bluetooth komunikace .....	- 30 -
4.1.7	Blok spínaného zdroje .....	- 32 -
4.2	Blokové schéma aplikačního SW .....	- 33 -
4.3	Odlišnosti her a jejich implementace do programu .....	- 34 -
4.3.1	Volejbal .....	- 34 -
4.3.2	Nohejbal .....	- 34 -
4.3.3	Petangue .....	- 34 -
4.3.4	Zápisník .....	- 34 -
4.3.5	Implementace do programu .....	- 34 -
4.4	Výroba zobrazovačů.....	- 35 -
4.4.1	LED .....	- 36 -
4.4.2	DPS, zobrazovač .....	- 37 -
5	Experimentální měření .....	- 40 -
5.1	Měření světelných vlastností zobrazovačů.....	- 40 -
5.1.1	Část první - měření zobrazovače s lesklým pozadím .....	- 40 -
5.1.2	Část druhá - měření zobrazovače s upraveným pozadím. ....	- 43 -
5.2	Experimentálně měření osvětlenosti pozadí světelné tabule .....	- 45 -
	Závěr .....	- 49 -
	Shrnutí .....	- 51 -
	Použitá literatura .....	- 52 -
	Seznam příloh.....	- 53 -

## Úvod

Úkolem této práce je vytvořit ukazatel skóre neboli světelnou tabuli sloužící k projekci aktuálního stavu hry. Vyvoláním potřeby výzkumu a vývoje nových tabulí byla skutečnost, že na trhu není k dispozici adekvátní produkt.

Profesionálně řešené světelné tabule jsou ovládány rozhodčím nebo operátorem. V rekreační oblasti jsou tyto funkce často vyřazeny, nebo znamenají jistou oběť. Proto je jedním z požadavků této práce možnost jednoduchého, intuitivního a malého dálkového ovládání. K tomuto účelu je dobře použitelný koncept klíčenkového ovladače, který je v běžné praxi často využíván k centrálnímu zamykání motorových vozidel. Klíčenka je lehká, skladná, odolná, může být proto na přívěsku kolem krku, nebo v kapse hráče. Tím odpadá nevýhoda vyčlenění hráče z kolektivu. Další variantou je ovládání pomocí telefonu s OS Android a výbavou pro komunikaci přes Bluetooth.

Dalším důvodem pro zpracování takovéto práce je imobilita profesionálně vyráběných zařízení. Nepočítá se s jejich častým přemísťováním, zařízení jsou velká, neskladná a mimo míčem ohrožených částí málo odolná. Předmět tohoto projektu byl a bude koncipován jako přenosný kufřík, který si při své nízké hmotnosti a malé ploše zachová všechny důležité vlastnosti zobrazovače, a to především dobrou čitelnost ze kteréhokoli místa na hřišti. Rovněž je ve fázi úvah zařadit duální napájení jak síťovou energií, tak energií z baterií, čímž by se mobilita rozšířila i na hřiště, kde není možnost napájení zařízení ze sítě.

Dalším atributem je nepochybně cena. Multifunkční tabule s adekvátní funkcionalitou, co se počtů sportů týče, se cenově pohybují řádově výše. Odhadovaná cena celého zařízení je do několika tisíc.

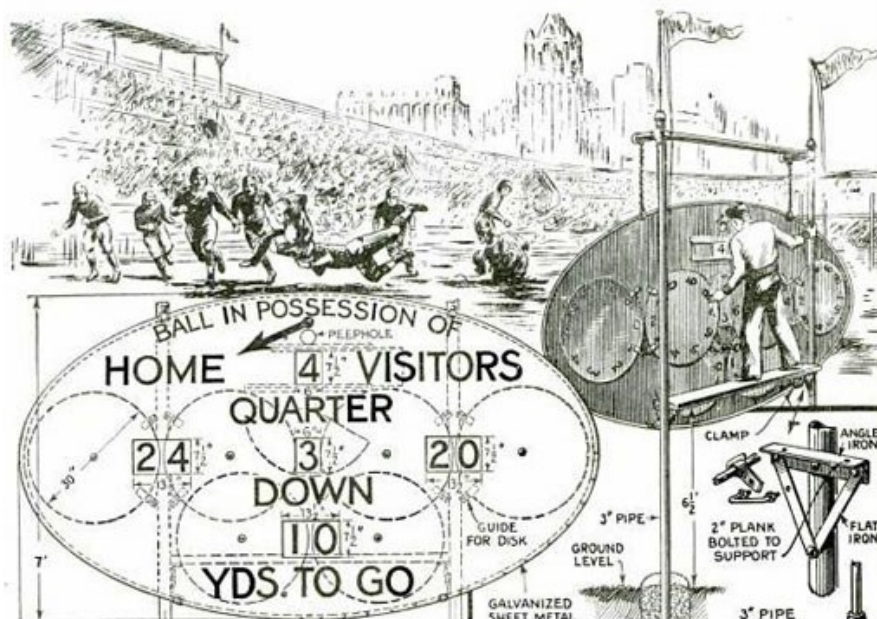
# 1 Historie HMI

## 1.1 Historie předání informace

Za historicky první dochovaný HMI by bylo možno považovat sluneční hodiny. Již v antice se používaly k určení času. Byl to stín na podložce, který ukazoval na ciferníku přibližný čas. Existovaly i jiné způsoby měření času než sluncem, například přesýpací hodiny, využívající písek, nebo vodní hodiny, odměřující čas pomocí úbytku vody. V těchto dobách také lidé odvodili první model výpočtu času ze slunce, nebo hvězd. Po zániku antické kultury se tyto technologie dále nerozvíjely. Až ve středověku se začaly objevovat obrovské stroje ve věžích, které měly za úkol zobrazovat čas. Tyto mechanické orloje měly zprvu pouze hodinovou ručičku, v průběhu staletí přibyla ručička minutová a doplňkové funkce jako zobrazování roku, měsíce, znamení zvěrokruhu a podobně, jak je vidět například na Pražském orloji. Technický pokrok, dokonalejší nástroje a minimalizace dovolily rozšíření hodinových strojů a strojků do domácností. Objevily se třeba „Kukačky“, které kromě ciferníku s ručičkami, měly i akustické hlášení celé hodiny, obdobně jako v kostelích hlásily zvony každou čtvrt hodinu. Minimalizace se koncem středověku dostala na takovou úroveň, že byly sestaveny první kapesní hodinky, které se zdokonalovaly až do první světové války, po které je začaly vytlačovat hodinky náramkové. S vývojem digitální techniky a LCD zobrazovačů se objevily i první digitální hodinky, které používaly pro zobrazování digitální čísla místo pohybu ukazatele po ciferníku. V posledních desetiletích se často sděluje čas například projekcí na rovnou světlou plochu, pro dekorativní použití například vykreslováním laserem do dýmu.

## 1.2 Historie zobrazovacích tabulí pro sport

Při většině současných sportovních aktivit je nutno zaznamenávat dílčí výsledky. K tomu dlouhou dobu sloužily tabule. Nejprve běžné školní tabule určené k zapisování křídou, ty se však převážně využívaly pro rekreační účely. S vývojem společnosti se sport stával masovým společenským a kulturním zážitkem, což přineslo potřebu učinit skóre čitelným pro velké množství diváků, tedy na velkou vzdálenost. V této době, tedy začátkem 20. století, se jednalo většinou o mechanické prvky, kola a posuvné pásy, které informovaly diváka o průběhu zápasu. Navzdory implementaci elektromechaniky a později i elektroniky, mechanické ukazatele dlouhou dobu přežívaly. Příkladem může být návod na mechanický ukazatel, který byl v roce 1932 otištěn v americkém časopise "Popular Mechanics", jež můžeme vidět na obrázku 1.1.



Obrázek 1.1: Mechanický ukazatel skóre z roku 1932

Tyto mechanické ukazatele jsou v prodeji dodnes; ve spoustě internetových obchodů se nabízí ukazatele skóre, které mají podobu kalendáře. Jednoduchým otočením listu s číslem lze změnit skóre jedné, nebo druhé skupině hráčů. Tak se prezentují výsledky publiku. Jeden z nich lze vidět na obrázku 1.2.

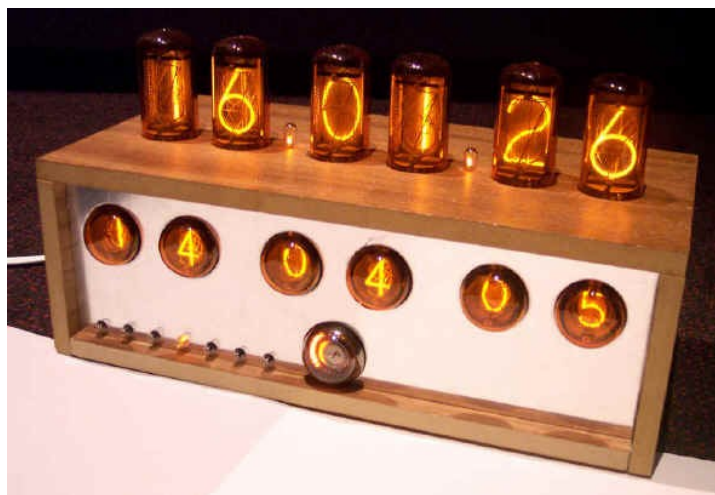


Obrázek 1.2: Stolní ukazatel skóre dostupný v obchodech

První pokusy s elektrickými tabulemi, podle zdroje mentalfloss [4], se datují na začátek 20. století. Tady se pouze několik prvků provedlo pomocí žárovek a zbytek se dále obsluhoval mechanicky. Díky složitosti a neudržitelnosti elektrických prvků se vývoj zastavil na těchto spíše

výjimečných aplikacích. Až v roce 1950 byla na stadionu Amerických Yankees mechanická tabule nahrazena elektrickou. K dalšímu zlepšení došlo o devět let později, v roce 1959. Po tomto vylepšení napsal The New York Times následující statistiku: "Ukazatel obsahuje 11210 žárovek s výkonem 115000 wattů, 619000 stop elektrických kabelů (což je přibližně 189km), celý váží 25 tun (bez ocelové nosné konstrukce), má více než 4860 tlačítek a řídicí konzole má rozlohu přes 4782 stop čtverečních (což je přibližně 444 metrů čtverečních)".

Několik dalších desetiletí se používala k řízení výkonové části elektromagnetická relé a křížové spínače. Pro zobrazování samotné byly využity nejčastěji žárovky, méně často černo-bílé bloky, které se natáčely, a tak poskytovaly informaci v podobě například segmentů digitálního čísla. Za zmínku stojí i digitron, jehož vynález přišel při rozmachu elektronkové techniky a používal se v 50-70. letech minulého století. Jedná se o vícekatodovou doutnavku se společnou anodou. Každá katoda je vytvarována do požadovaného znaku, nejčastěji čísla, a přivedením napětí, které se většinou pohybuje mezi 150 - 170V, se rozsvítí, a tím poskytne informaci. Do dnešních dnů se digitrony používají, ne sice v komerční sféře, spíše pro dekorativní a nostalgicky vyhlížející prvky. Nejčastěji se tvoří digitronové hodiny (obr. 1.3.).



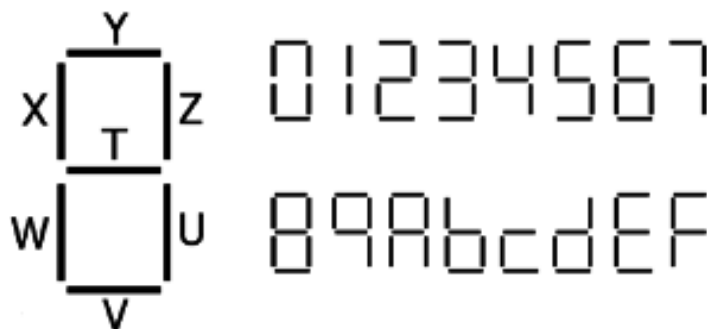
Obrázek 1.3: Digitronové hodiny

Začátkem 80. let 20. století začala věda a technika směřovat k využití polovodičů, čímž začal skutečný rozmach zobrazovačů, včetně informačních tabulí na nádražích, v letištních halách, ale také na stadiónech a ve sportovních halách.

LED, z anglického: "Light emitting diode" neboli světlo emitující dioda, se na světě začala objevovat už počátkem sedmdesátých let, jak tvrdí anglická wikipedie [5]. Výraznějšího prosazení se však dočkala až později, a to hlavně díky zlevnění a zefektivnění výroby, ale také díky neustále se zvyšující trvanlivosti, svítivosti a efektivitě. Jejich vysoká životnost, tepelná bezpečnost a efektivita byly hlavními důvody pro implementaci do často nedostupných světelných tabulí. Zatímco běžná žárovka dovede svítit 1000 hodin, světlo LED, tedy LED žárovky, je v dnešní době, podle serveru e-light [6], limitován na 30000 hodin. Rovněž u LED nedochází k výraznému zahřívání díky skutečnosti, že mají 4-7 krát vyšší účinnost, neboli přemění mnohem více elektrické energie na světlo a méně na

odpadní teplo. Tím se zmenšuje riziko požáru, snižuje se spotřeba elektrické energie, což se promítá do jejich velikosti a schopnosti minimalizace a integrace v koncových produktech.

Zpočátku se LED světelné tabule používaly zřídka, což bylo zapříčiněno vysokými pořizovacími náklady a konzervativností zodpovědných osob, které si obtížně zvykaly na užití nových technologií. Nejprve se používaly, díky zmíněné nízké svítivosti, pouze ve vnitřních halách. Později, s pokrokem technologií, se tabule častěji implementovaly i do venkovních prostor stadiónů.



Obrázek 1.4: Zobrazení hexadecimálních znaků na sedmisegmentovém displeji

Samotná LED technologie se dala aplikovat dvěma způsoby. Buď se diody vytvarují do segmentů digitálních čísel a informace se mění rozsvícením jednotlivých segmentů (obr. 1.4), nebo se LED rozmístí do matice a podle potřeby se aktivací jednotlivých diod navozuje dojem obrazu. Pro potřeby sportů, zobrazení skóre a času pro velké množství diváků se v historii až dodnes preferovaly segmentové zobrazovače. Mezi jejich nesporné výhody oproti maticovým zobrazovacím systémům patří zejména jednoduchost, a to jak v samotném hardware, tak i co se týče ovladačů. Naopak nevýhodou je netvárnost zobrazení - pokud se změní požadavky na zobrazení, segmentové zobrazovače se jen obtížně s těmito změnami srovnávají. U sportů se však tyto změny dějí minimálně.

V posledních desetiletích se často objevují maticové displeje ve velkých hokejových halách a na fotbalových stadionech, a to především díky možnosti promítání reklamy, v hokeji se rovněž pouští záběry z kamer. Před mistrovstvím světa v ledním hokeji 2004 byly instalovány dva velkoplošné monitory v Ostravské ČEZ aréně. Každá má rozměr 9×5m a centrálně se ovládají z místa režie pomocí stovek metrů optických kabelů, jak lze zjistit na stránkách výrobce této technologie [7].

## 2 Podmínky sdělování informace přístroj - člověk

Už od doby prvních žárovek, mikrofonů a sluchátek slouží elektrické přístroje k předávání informací. V případě žárovek, v posledních desetiletích i polovodičových LED, rozsvícení či zhasnutí kontrolky signalizuje akci. V dřívějších dobách se světlem přenášela informace například pomocí Morseovy abecedy, ve které je zakódován sled dlouhých a krátkých záblesků pro každý znak. Tato forma se používala společně s vlajkovou abecedou na lodích nebo v armádách. Morseova abeceda se používala také v civilním sektoru, například pro donedávna používaný telegraf. Operátor odvysílal zprávu zakódovanou do Morseovy abecedy skrze terminál, kde vytvářel ony krátké a dlouhé pulsy. Nejprve volací značku místa, kam měl být telegram doručen, posléze zprávu samotnou. Na přijímací straně se elektrický signál měnil na zvuk a naslouchající operátor zprávu dekoval.

Člověk vnímá většinu smyslových podnětů zrakem, až 80%. Podstatnou část ze zbylých 20% vnímá sluchem, následuje hmat, čich a chuť.

Postupem času se zobrazovací elektronika dostala na takovou úroveň, že překračovala lidské možnosti. Konkrétně vlastnosti známé jako setrvačnost oka. Dále bude pojednáváno pouze o předávání informace optickými cestami formou zobrazovač -> oko -> mozek, jako klíčové pro tento projekt. Pro porozumění problematice zobrazování informací bude v následující části vysvětleno a nadefinováno několik pojmů s problémem souvisejících.

### 2.1 Světlo, osvětlenost, barva světla

Světlo je elektromagnetické vlnění. Pokud je v rozmezí 400-760nm, jsme schopni zpracovat je očními receptory, a proto je často nazýváno světlem viditelným. Za špatných světelných podmínek, při nedostatečném osvětlení sítnice, poskytují orgány oka zvané tyčinky možnost černobílého vidění, které je značně nedokonalé. Při dostatečném osvětlení se na kvalitě vidění začnou podílet oční čípky, jejichž specifická funkce spočívá ve vnímání barev, tím také dochází ke zlepšení kontrastu mezi předměty. V lidském oku jsou tři druhy čípků - pro modrofialovou (cca 425 nm), zelenou (cca 530 nm) a oranžovou (cca 560 nm) barvu. Míru osvětlenosti tyčinek a čípků ovlivňuje zornice, která propouští tolik světla, kolik je třeba k dobrému podání barev a kontrastu. Z těchto poznatků je nezbytné vyvodit důsledky pro vhodnou barvu displejů a jejich nutnou svítivost pro zřetelné zobrazení.

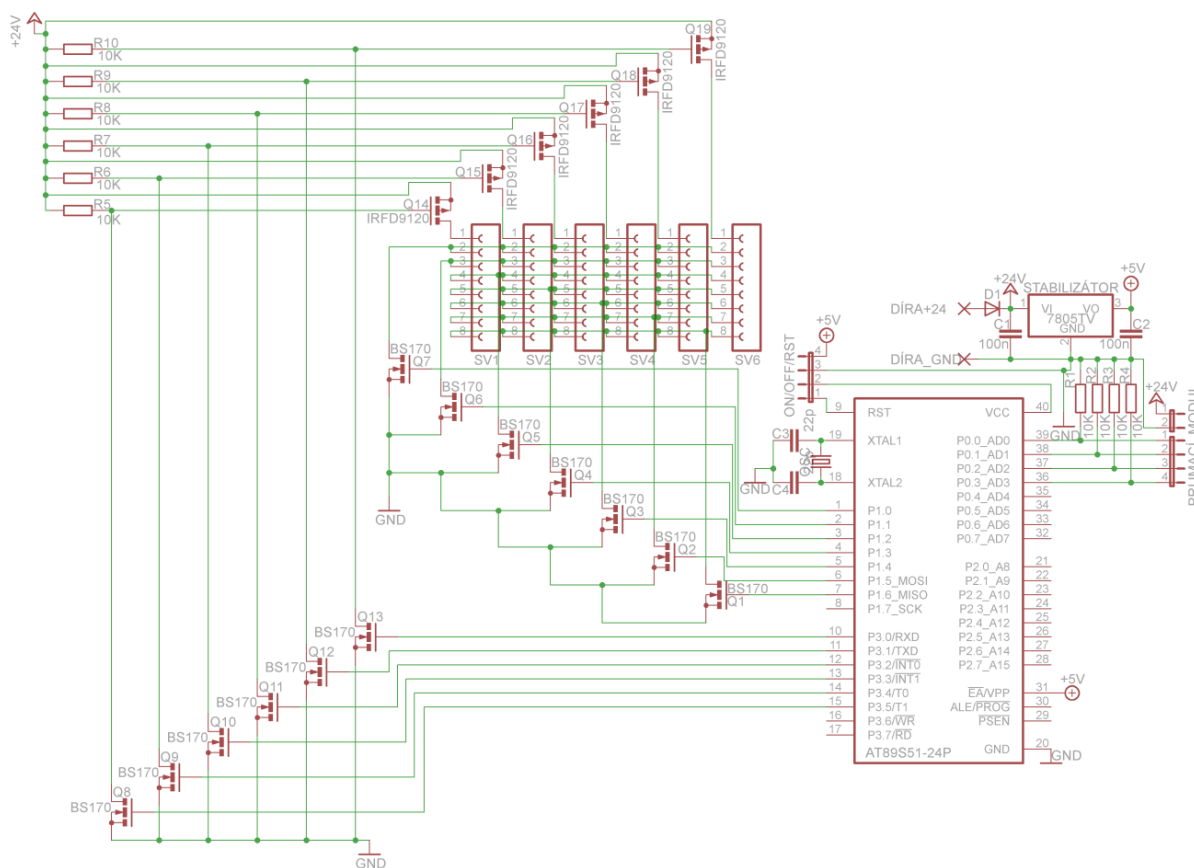
### 2.2 Setrvačnost oka

Lidské oko a zpracování signálu v něm je omezeno počtem snímků zpracovatelných za sekundu. Toto omezení se nazývá frekvence splynutí. Po překročení tohoto limitu se obraz stává pro lidské oko spojitě běžícím a vzniká tak dojem pohybu, například ve filmu. V mnoha odvětvích se s tímto jevem počítá a zakládá se na něm výrobní technologie. Kupříkladu animace již zmíněných filmů, zobrazovací jednotky CRT monitorů i televizi založených na CRT technologii nebo i obnovovací frekvence moderních monitorů či zobrazovacích jednotek obecně.

Obecně se uvádí, že hranice lidského vidění, při které oko ještě vnímá jednotlivé obrázky, se pohybuje okolo hodnoty 23 snímků za sekundu, zde se s jistou rezervou uvádí 25Hz jako kritická frekvence splývání. Podle knihy Fyziologie oka a vidění [2] závisí frekvence splývání také na jasu světelného podnětu, čím vyšší jas, tím vyšší frekvence. Rovněž uvádí, že při optimálním osvětlení se frekvence pohybuje mezi 50 - 60 Hz. Naopak při stroboskopickém osvětlení tato hodnota může nabývat i 5 snímků za vteřinu. Také je zde uvedeno rozlišení vnímání obrazu přímé a periferní. Z těchto informací vyplývá, proč i přes dodržení kritické frekvence splývání 25Hz se obraz na prvních pokusech zobrazovacího panelu nejevil spojitě, ale naopak při delším pohledu na tabuli čísla napsaná na sedmsegmentových displejích ztelně blikala.

### 2.3 Blikání displejů ve verzi 1

V prvních verzích zpracování světelné tabule byla použita diametrálně odlišná technologie a topologie řídicí mechaniky. Jako řídicí mikroprocesor byl použit AT89S51, tedy mikropočítač na jádru staré topologie 8051. Ke zpracování informace se nepoužíval další HW, naopak bylo záměrně počítáno s tím, že veškeré výpočty, převody i ovládání samotných displejů bude ovládat řídicí mikropočítač. Na DPS byly pouze podpůrné obvody pro provoz chipu a výkonové stupně pro ovládání displejů (obr. 2.1).



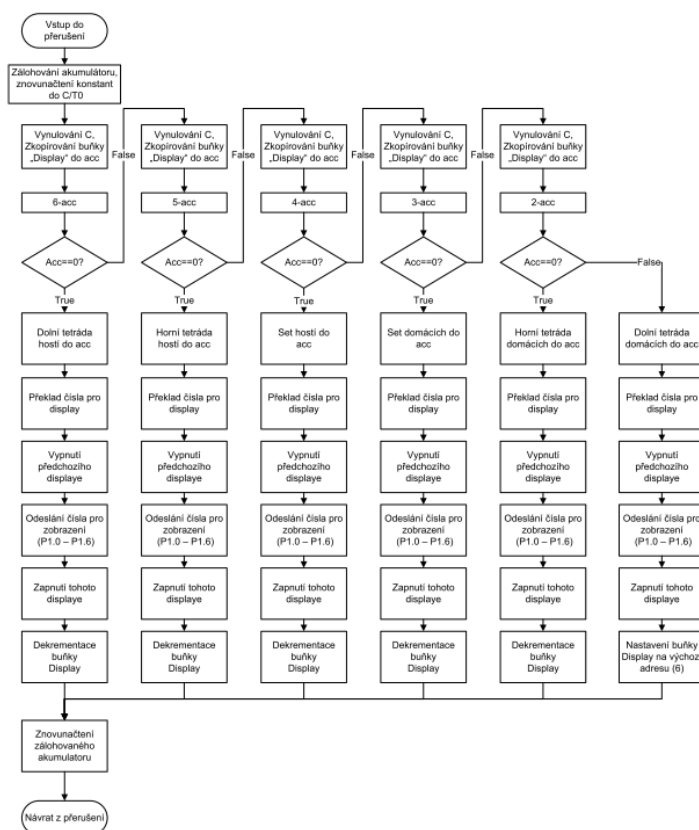
Obrázek 2.1: Schéma topologie řídicí elektroniky verze 1.



Jako každý kompromis, i tento měl své klady a zápory. Mezi klady patřilo omezení možných poruch díky snížení počtu HW prvků, rovněž rychlost zpracování programu je často rychlejší než dynamika HW bloků.

Naopak požadavky na program, jeho vývoj, obzvláště ve fázi práce s BCD čísly a počty s nimi, byly enormní. Díky komplexnosti programu zde byla omezena možnost naplno využít možnosti HW multitasking. Přidáním HW bloků by se odlehčilo programu.

Pro pochopení důvodu blikání displejů je nutno seznámit se s činností programu. Chip měl použit jeden čítač, který byl nastaven tak, aby každý displej obsloužil 25 krát za sekundu. Displejů bylo 6, takže přerušení se vyvolávalo  $150\times$  za sekundu. V hlavní smyčce programu se čekalo na impuls od jednoho ze 4 tlačítek, které znamenalo určitou akci, poté se akce provedla a zkontrolovaly se hodnoty setů, jestli nemá být překlápán set, nebo zda nepodtekla hodnota pod nulu. Následně se všechny hodnoty přeložily do BCD kódu a uložily do alokované paměti, které se pomocí přerušení vyzvedávala k zobrazení na displejích. Tato operace byla provedena 150 krát za sekundu bez ohledu na to, byla-li hodnota změněna nebo ne. Displeje byly obsluhovány ve sledu, který udává vývojový diagram. Ten je k vidění v přílohách (obr. 2.2).



Obrázek 2.2: Náhled diagramu obsluhy přerušení

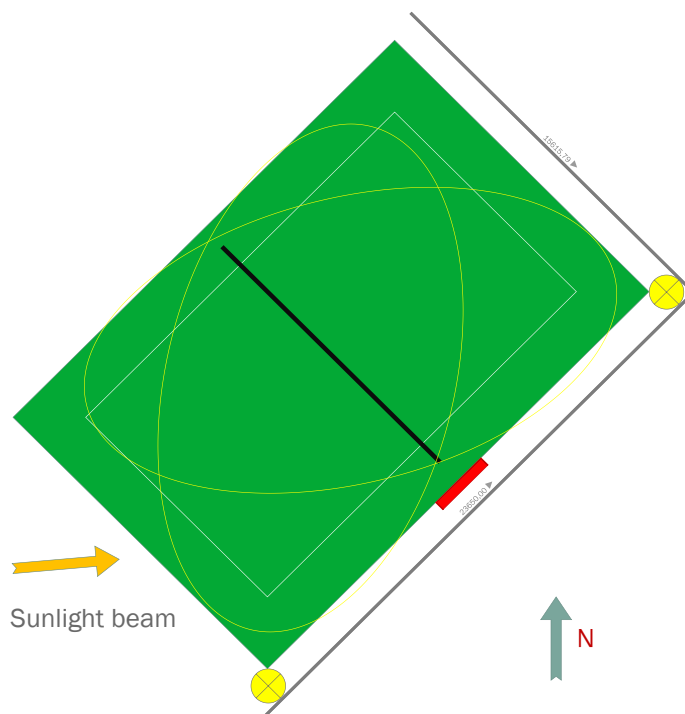
Každý displej tedy svítil pouze šestinu času, což je důsledek zavedeného časového multiplexu. Opticky proto poklesl jas a s ním se zvýraznila i frekvence blikání.

## 2.4 Regulace jasu ukazatele

S automatickou regulací jasu se u této práce nepočítalo. Snímání osvětlenosti, jasu, vyhodnocování druhotných veličin jako například výše zmíněného kontrastu, je natolik komplexní problematika, že její rozbor a řešení by vydalo na samostatnou práci a její plnohodnotná regulace by potřebovala vlastní procesorovou jednotku. Pro teoretickou implementaci automatické regulace jasu bylo nutno provést rozbor situace, nastudovat problematiku, poradit se s odborníky a následně zvolit topologii a součástky.

### 2.4.1 Rozbor situace

Předmětem práce je světená tabule, která bude plně použitelná jak ve venkovním prostředí, tak v uzavřených halách, a to jak ve dne, tak i v noci. Konkrétní podmínky jsou stanoveny pro místo, kde bude světelná tabule fakticky fungovat. Jedná se o multifunkční sportoviště pro volejbal, nohejbal, americký basketbal další variace těchto her. Rozměry hřiště jsou tedy 9×18m. Za hraničními čarami je další místo definováno oficiálním rozměrem hřiště rozměr plochy je tedy 11×20m. Hřiště je ze dvou stran, SV a JV ohraničeno 3-5m vysokým plotem. V JV a SV rohu je zdroj světla pro večerní osvětlení hřiště v noci. Hřiště je osvětlováno odpoledním až večerním sluncem. To se však stává problémem pro implementaci světelné tabule, a to z důvodu špatné čitelnosti údajů na displejích oslněných sluncem v odpoledních hodinách. Proto musí být v této době jas zesílen tak, aby kontrast displejů proti sluncem osvícenému pozadí stačil pro přečtení informace. Pro noční provoz mimo dosah zdrojů osvětlení je žádoucí, aby jas displejů poklesl a nebyl nepříjemný pro oči. Situační rozložení je k vidění v plánu 2.3. Místo pro světelnou tabuli je označeno červeně. Elipsy na hřišti znázorňují, kam dopadá hlavní světlo z výbojkových svítidel.



Obrázek 2.3: Situační rozložení hrací plochy

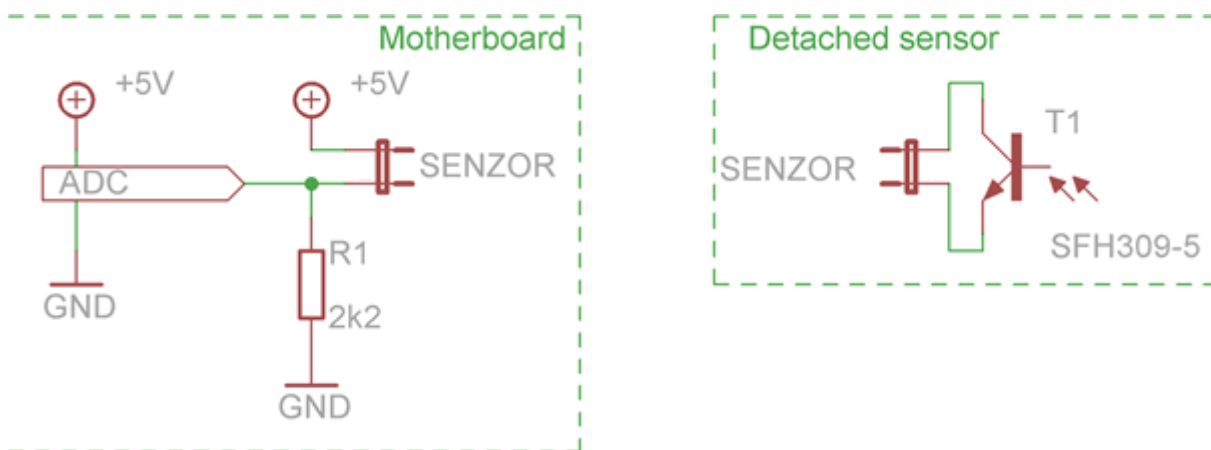
Ze situace, kdy se mění světelné podmínky, je nutno vyvodit řešení v podobě adaptace jasu vůči okolnímu osvětlení.

### 2.4.2 Možnosti řízení jasu

Nejjednodušším a nejspolehlivějším řešením je ovládání operátorem. V kombinaci s mobilním telefonem je možnost ovládání jasu skrze mobilní přístroj nasnadě. Záměrem této práce je poskytnout jednoduchou a uživatelsky příjemnou aplikaci, tedy situace, kdy by hráč musel dojít pro telefon, připojit se k panelu a nastavit jinou úroveň jasu displejů, je pro splnění požadavku jednoduchosti nesmyslná. Další možností je automatická regulace. Bohužel automatickou regulací nikdy nedocílíme ideálního výsledku, který by byl stejně kvalitní jako regulace manuální s pomocí oka jako senzoru. Oko jakoukoli součástku mnohonásobně předčí, a naopak žádná součástka nemá stejné spektrální vidění barev jako oko. Nabízí se možnost kombinace několika součástek nebo použití kamery, bohužel tyto úvahy kolidují s nároky na jednoduchost systému. Možností je tedy kompromis, kdy se většinu času stará o regulaci jasu SW regulátor, který má jako vstup fotosenzor, a v případě, že by automatická regulace selhala, bude možnost manuálního nastavení jasu pomocí mobilního telefonu. K těmto vynuceným zásahům obsluhy by mělo docházet co nejméně, postarat by se o to měl vhodný výběr fotosenzoru a jeho vhodné umístění.

### 2.4.3 Automatická regulace

Úkolem regulace bude snímat pozadí světelné tabule, předat informaci o osvětlenosti přepočtenou na napětí do analogově-digitálního převodníku, vyhodnotit napětí algoritmem a podle výpočtu vytvořit akční zásah v podobě upravené střídy PWM signálu napájecího výkonovou část zobrazovačů. Čas v této úloze hraje zanedbatelnou roli vzhledem k rychlosti, jakou se světelné podmínky mění. Naopak je kladen důraz na přesnost a jednoduchost. Z těchto důvodů bude vybrán jeden fototranzistor se spektrální citlivostí co nejbližší oku a opatřen štítem pro získání směrovosti měření. V takovémto pouzdře bude senzor vyveden mimo základní konstrukci světelné tabule, aby mohl snímat pozadí panelu, popřípadě samotný panel. Schéma zapojení viz obr. 2.4.



Obrázek 2.4: Senzorický systém automatické regulace

## 3 Obecné vlastnosti

Následující odstavce popisují postup výběru klíčových vlastností s jeho odůvodněním, dále výběr komponentů splňujících nadefinované požadavky.

### 3.1 Vytipování vlastností

Vezmeme-li v úvahu vše výše zmíněné včetně prostředí, ve kterém má multifunkční světelná tabule fungovat, požadujeme následující vlastnosti:

- 1) Masivní provedení bránící poškození úderem míče či jiným lehce vzniklým poškozením.
- 2) Viditelnost zobrazovačů adekvátní provozu ve venkovních podmínkách za slunečního svitu.
- 3) Mobilita pro použití na různých stanovištích.
- 4) Dálkové ovládání v podobě klíčenky.
- 5) Multifunkčnost nastavení pro více her.
- 6) Intuitivní, jednoduché ovládání.
- 7) HW i SW, který je odolný lidským chybám.
- 8) Estetické zpracování na vysoké úrovni.
- 9) Nižší finanční náročnost projektu v porovnání s cenou profesionálního produktu.
- 10) Pokročilé ovládání pomocí mobilního telefonu s OS Android přes Bluetooth

### 3.2 Možnosti realizace zobrazovačů

Při volbě zobrazovačů lze vybírat ze široké škály možností od elektromechanických klapek, přes žárovky, segmentové displeje, až po maticové klávesnice, nebo dokonce LCD a OLED displeje. Níže bude popsán důvod volby s uvedením kladů a záporů každé z možností.

#### 3.2.1 Elektromechanické zobrazovače

Jsou pro tuto aplikaci nepoužitelné, a to z několika důvodů. Především proto, že by nebylo možné v samotné elektromechanické formě použít je v noci, respektive by je absence světla v noci činilo málo čitelnými. Jejich užití by značně zvýšilo velikost i hmotnost a zobrazovač by tedy nevyhovoval požadavku mobility. Rovněž by užití mechanických prvků přispělo k menší trvanlivosti a větší poruchovosti. Jedinou výhodou elektromechanického řešení by byla téměř nulová spotřeba při klidovém stavu.

#### 3.2.2 Sedmisegmentové displeje

Výhodou je rychlost, relativně vysoká svítivost, dobrý pozorovací úhel, nízká cena, snadná obsluha. Nevýhodou je nutnost konverze čísla do BDC kódu, zajištění držení informace na displeji i v době, kdy není obsluhován (o této problematice pojednává kapitola 2.2.). Zásadní nevýhodou je absence vysoce svítivých a zároveň rozměrově dostatečných sedmisegmentových zobrazovačů.

### **3.2.3 LED maticové displeje**

Jednoznačnou výhodou je dynamičnost systému. Pokud by byla zvolena tato varianta, tabule by byla programovatelná téměř pro jakýkoliv kolektivní sport. Nevýhodou jsou jednoznačně větší HW i SW složitost, tedy i menší spolehlivost a vyšší cena. Navíc by toto jednoúčelové zařízení neumožnilo přenos jiné informace než čísel.

### **3.2.4 LCD**

LCD displeje mají nevýhodu malého pozorovacího úhlu, což je pro aplikaci, pro kterou by měl sloužit, zásadní nedostatek. Jsou křehké, musí být podsvíceny, ovládají se maticově, podobně jako maticové LED, což je pro tento účel zbytečně složité. V posledních letech cena LCD klesá, respektive je tlačena dolů vyvíjením nových lepších technologických nástupců LCD.

### **3.2.5 OLED**

Hlavní nevýhodou je cena. OLED displej, koupený v přiměřené velikosti s dostatečnou svítivostí, by se cenově pohyboval v relaci několikanásobně vyšší, než jakékoli z možných řešení. Další komplikací je skutečnost, že pro každý zobrazovací bod je potřeba 3-4 ovládacích napětí. Při předpokládané ploše a vysokém rozlišení by maticové ovládání bylo takřka nerealizovatelné.

### **3.2.6 Výroba vlastních zobrazovačů**

Vzhledem k výše zmíněnému byla zvolena možnost nechat si zobrazovací jednotky vyrobit nebo je vyrobit vlastnoručně. Jako vhodnější se jeví vlastnoruční vytvoření zobrazovače v topologii sedmisegmentových displejů. Tato volba se opírá o vlastnosti nejlepší pro tuto aplikaci, tedy poměr ceny k výkonu, svítivost, pozorovací úhel, technickou odolnost a jednoduchost HW i SW navrhované řídicí inteligence. Displeje jsou navrženy jako několik LED v SMD pouzdře zapájených vždy po skupinách, které tvoří segmenty digitálního čísla. Předpokládá se zalití dvousložkovou pryskyřicí, čímž se docílí dostatečného rozptylu světla a eliminace směrovosti vyzařovacího úhlu diod, nebo použití diod s vyzařovacím úhlem větším než 100°. Rovněž je tímto splněn požadavek kvality zpracování, míra jeho kvality se bude odrážet do vlastností vyrobeného displeje. Srovnání klíčových vlastností lze nalézt v tabulce 3.1 Při srovnávání vlastností nejsou zohledněna obecná fakta. Vztažnou soustavou pro tuto tabulku je tato práce, proto se může hodnocením lišit od obecně známých vlastností výše zmíněných technologií. Další a detailnější informace o výrobě zobrazovačů jsou obsaženy v kapitole 4.4.

	Elektro- mechanické	Sedmi segmentové	Maticové LED	LCD	OLED	Vlastní výroba 7-s
Požizovací náklady	<b>0</b>	++	+	+	--	+
Vlastní svítivost	<b>Nemá</b>	<b>0</b>	+	<b>Nemá</b>	+	++
Pozorovací úhel	++	++	<b>0</b>	--	++	++
Technická odolnost	-	+	+	--	-	+
Životnost	-	+	+	+	+	+
Jednoduchost ovládání	-	+	<b>0</b>	-	--	+

Tabulka 3.1: Srovnání vlastností možných zobrazovacích technologií pro sportovní tabuli

### 3.3 Možnosti použití řídicí elektroniky

Nabízí se značné množství variací a možnosti použití řídicí elektroniky:

#### 3.3.1 Realizace na bázi mikropočítače

Tento způsob je už od začátku úvah upřednostňován, a to z následujících důvodů. Systém je otevřený, čímkoliv bude naprogramován, to bude v rámci svých HW možností konat. Není tedy omezen licencemi na SW. Mikropočítač je nejrychlejší možné řešení. Pokud je uvažováno s taktovací frekvencí 16MHz, což je maximální taktovací frekvence použitého chipu, pak se jedna instrukce provede v rozmezí 63-250ns. Doba provedení instrukce záleží na její složitosti, čili struktuře. Další stěžejní výhodou je spotřeba. Zatímco spotřeba nejúspornějšího PC Raspberry Pi je řádově ve Wattech, spotřeba při uspaném mikroprocesoru stoupá k jednotkám  $\mu\text{W}$  (pochopitelně se jedná pouze o vnitřní provoz, nikoliv se zapojenými periferiemi). Další nespornou výhodou je, že chipy v SMD pouzdře dosahují plochy nepřesahující centimetr čtvereční, což je ideální pro splnění požadavku snadné mobility. Jako nevýhodu lze vytknout nutnost tvorby vlastního HW a nastudování vnitřní struktury chipu. Pokud by byl zvolen jazyk symbolických adres, přibyla by zde nutnost nastudování instrukčního souboru.

#### 3.3.2 Realizace na bázi počítače

Toto řešení se jeví jako nejuniverzálnější a nejvýhodnější pro složitější zobrazovače, například pro výše zmíněné OLED technologie. Většinou je odkázáno na stabilitu operačního systému. Počítače mají oproti mikropočítačům o několik řádů vyšší spotřebu, a to i v případě, kdy jsou zahrnuty do této kategorie přístroje jako Raspberry Pi. Rychlost obsluhy vzniklých událostí je rovněž řádově nižší. Dalším důvodem je nutná minimalizace pro splnění podmínky mobility. Pro relativně malé zobrazovací zařízení není tedy PC nejvhodnějším řídicím systémem z důvodu ceny a obtížnosti implementace.

### 3.3.3 Realizace pomocí programovatelných logických automatů (PLC)

Tato možnost poskytuje oproti PC větší spolehlivost, stabilitu, většinou i menší hmotnost. Předností PLC je jejich vysoká provozní spolehlivost. PLC jsou při zpracování informací pomalejší než mikrokontroléry, tato vlastnost je však vzhledem k účelu použití aplikace druhořadá. PLC jsou však pro tuto práci cenově nedostupné. Rovněž je PLC větší než elektronika obsahující mikrokontroler, což snižuje mobilitu přístroje.

Všechny důležité vlastnosti možných řešení pro tuto práci jsou shrnuty v tabulce 3.2. Opět při srovnávání vlastností nejsou zohledněna obecná fakta. Vztažnou soustavou pro tuto tabulku je tato práce, proto se může hodnocením lišit od obecně známých vlastností výše zmíněných technologií.

	PC	miniPC	PLC	μPC
Pořizovací náklady	-	+	<b>0</b>	++
Rychlost zpracování dat	<b>0</b>	<b>0</b>	+	++
Možnost minimalizace	--	-	-	++
Technická odolnost	+	-	++	<b>0</b>
Životnost	--	+	++	<b>0</b>
Spolehlivost	-	+	++	<b>0</b>
Jednoduchost programování	--	<b>0</b>	-	--

Tabulka 3.2: Srovnání vlastností možných řídicích jednotek pro ukazatel.

## 3.4 Elektromagnetická kompatibilita

Z výše uvedeného vyplývá, že velká většina plošných spojů v této práci bude vytvořena vlastnoručně. Proces výroby začíná u ideového návrhu, přes schéma zapojení a výběr součástek, až po vlastní tvorbu vzhledu a rozložení plošného spoje. Při tvorbě DPS je nutno dbát na elektromagnetickou kompatibilitu. Ta je definována jako soubor vlastností vedoucích k snížení vyzařování elektromagnetického záření výrobkem a zahrnuje odolnost proti elektromagnetickému záření adekvátní místu a situaci, v níž bude výrobek provozován. Měření záření i odolnost proti němu se řídí zákonem a řadou norem. Cílem této práce není vytvořit výrobek, který bude podrobován testům EMC, aby mohl být uveden na Evropský trh a získal takzvané „Prohlášení o shodě“. Prohlášení o shodě je výsledkem měření EMC výrobku, který tomuto měření vyhověl. Na základě tohoto měření může být výrobek uveden na trh. To neznamená, že by neměla být dodržována pravidla pro snížení elektromagnetického záření do okolí správným návrhem DPS. Byla nastudována problematika EMC tak, aby byly minimalizovány možné problémy vycházející z DPS. Jeden z těchto problémů je krátce popsán v kapitole 4.1.5. Následně budou definovány zásady, které byly zohledněny při návrhu řídicí elektroniky, kde je nutno řešit komunikaci, proudové smyčky, řazení sběrnic, filtrace, ale také při

návrhu zobrazovače, kde byla EMC řešena především v otázkách silových obvodů a tedy filtrace napájení a proudové smyčky a proudové plochy.

**Minimalizace hodnot proudů.** Tato část návrhu desky je zohledněna u každého navrhovaného výrobku, a to především z důvodu dimenzace součástek. Součástky pro vyšší proudy jsou obecně dražší, větší, a potřebují často chladič. Nutno říci, že na desce je nutno počítat s přechodovými ději. V případě této práce se jedná o nárazový odběr při zapnutí zobrazovačů. Pokud se nejedná o přechodový děj při startu ani o VF techniku, je možno pro vykrytí těchto proudových špiček použít kondenzátory.

**Co nejmenší počet synchronně řízených obvodů.** Z tohoto důvodu byl přepracován koncept práce a ze synchronní obsluhy zobrazovačů se stala asynchronní. Nyní kromě signálu z externího oscilátoru není v práci generován žádný synchronní signál.

**Minimalizace ploch proudových smyček.** Tento bod je jedním z nejdůležitějších ve vztahu k samotnému vyzarování. Máme-li velkou plochu proudové smyčky, ta vytváří velkou anténu. Tato nejen emituje elektromagnetický šum, ale rovněž jej přijme, což může v důsledku znamenat nefunkční sběrnici, špatné časování chipu a podobně. Proto je nutno s tímto ohledem volit rozmístění součástek, vodičů ve sběrnicích, ale také veškeré nevyužité místo na DPS uzemnit, a tak nechat vzniknout „zemní štít“ pro jednoduché prokovení u vícevrstevných desek.

**Minimalizace kmitočtového spektra.** K tomuto účelu je vhodné umístění filtračních kondenzátorů v cestách napájecích větví, správná dimenzace součástek na rychlost přepínání s ohledem na náběžné a sestupné hrany signálů. Opět nutno dbát na správné řazení vodičů ve sběrnici.

Nutno říci, že problematika EMC při návrhu DPS je natolik obsáhlá a složitá, že pro zpracování této práce není její zvládnutí nezbytné v plném rozsahu. V žádném případě tedy není řečeno, že je problematika EMC, nebo návrhu desky zcela zvládnuta.

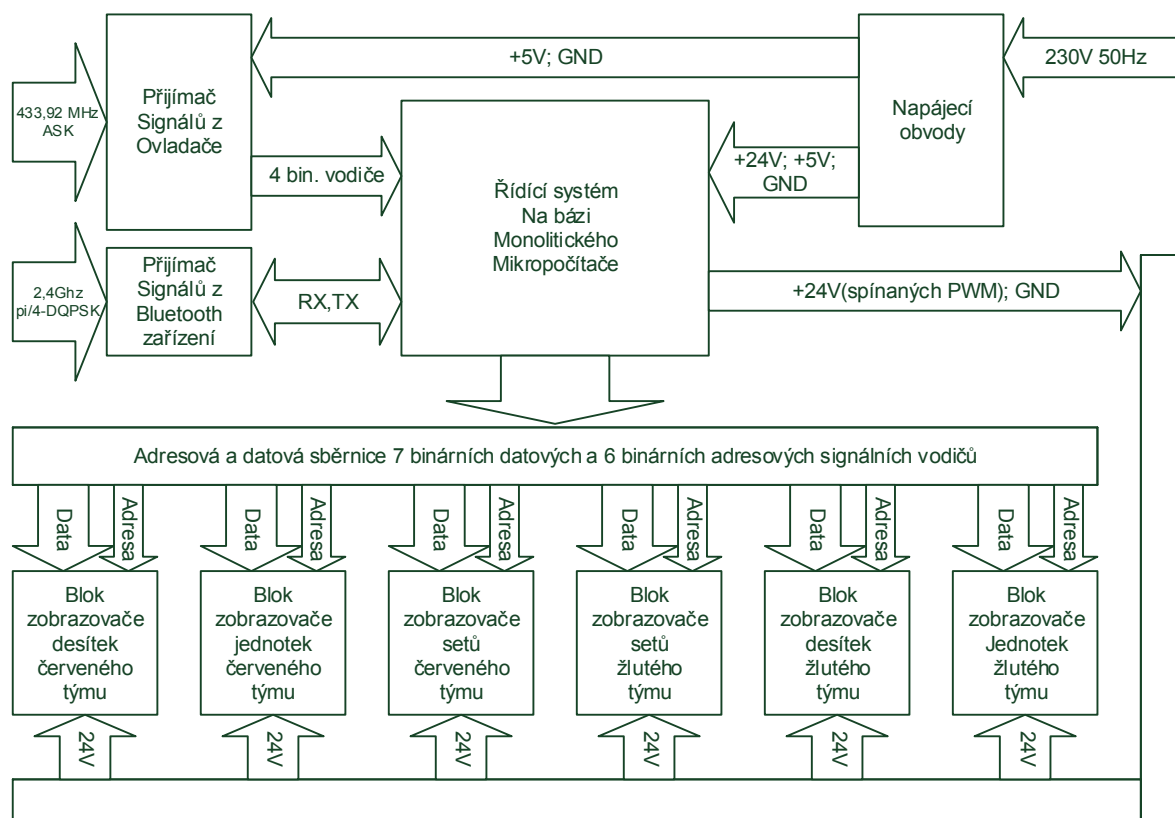


## 4 Realizace práce

Tato kapitola popisuje postup realizace. Zahrnuje blokové schéma, objasnění funkce dílčích bloků, popis aplikačního firmware a software. Dále pak vývoj samotného výrobku.

### 4.1 Blokové schéma soustavy

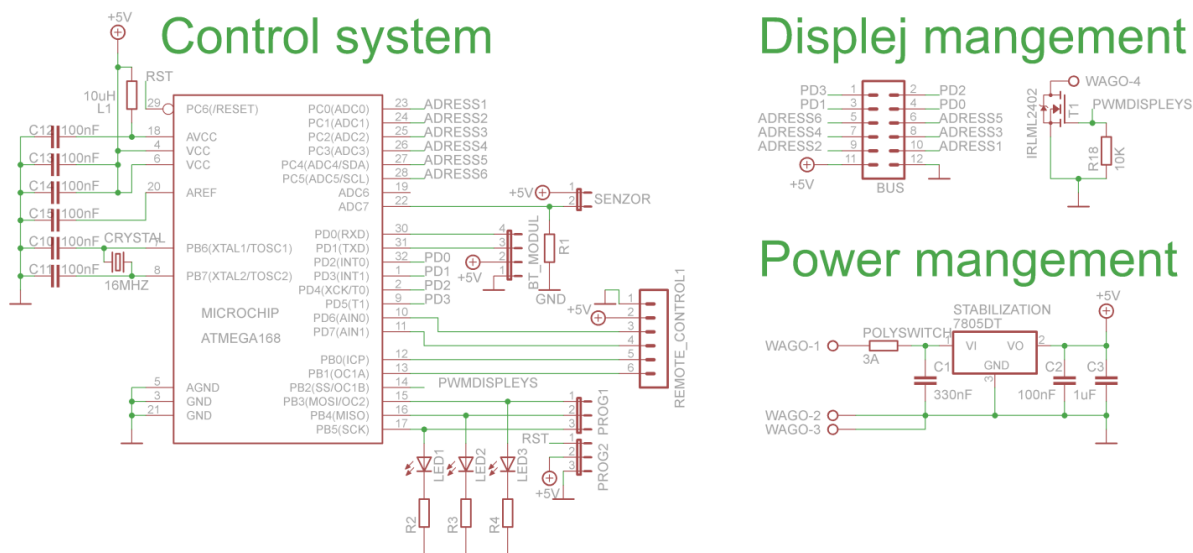
Jak lze vidět na obrázku 4.1, soustava není nadměrně složitá. V projektu je použita jedna sběrnice s kombinovanými datovými a adresovými informacemi, na niž má možnost zapisovat pouze řídicí blok. Po zapnutí podpůrných obvodů a automatické inicializaci systému čeká řídicí blok na informaci z přijímače, tedy na stisk tlačítka na dálkovém ovladači. Pro každé tlačítko na vysílači je v řídicím bloku určena unikátní operace, která změní vnitřní hodnoty paměti. Následně řídicí jednotka spustí sekvenci zápisu na zobrazovači. Tato sekvence mění hodnotu pouze displejích, které doznaly od posledního zápisu změn. Neplýtvá se tedy strojovým časem na přepis všech hodnot. Sekvence je složena ze zápisu dat na sběrnici, volby adresy, zpoždění pro korektní vyčtení. Tato topologie je pro každý displej, na který se má zobrazit nová hodnota. Blok zobrazovače má za úkol převod, zápis a udržení informace na zobrazovači.



Obrázek 4.1: Blokový diagram navrhovaného řešení

#### 4.1.1 Blok řídicího systému a podpůrných obvodů

Na základě úvah z kapitoly 4.1 byl zvolen mikrokontroler Atmega 168 od výrobce Atmel. Jeho předchůdcem v této aplikaci byl již zmíněný mikroprocesor založený na jádře 8051, AT89S51. Atmega vyhovuje aplikaci, ačkoliv v současné době není jeho funkčnost využita naplno. Z důvodu využití komunikace prostřednictvím sériového rozhraní byl zvolen externí oscilátor. Interní oscilátor je značně nepřesný. Místo resetovacího tlačítka použitého v minulých verzích se pro reset během případného zamrznutí aplikace bude používat odpojení zdroje pomocí spínače u přívodní šňůry. Programovací kabel je vyveden na zadní panel pro jednoduché změny v programu bez nutnosti rozebírání konstrukce. Podpůrnými obvody se v tomto případě rozumí stabilizátor napětí 7805, jeho vazební kapacity a polyswitch, který plní ochrannou funkci. Napájení z těchto podpůrných obvodů využívají i moduly přijímače a bluetoothu. Dále je zde výkonový obvod regulující jas displejů, což se děje pomocí PWM buzeným unipolárním tranzistorem. Čidlem pro snímání světelných podmínek je fototranzistor připojený na ADC7. Veškeré propojení s ostatními bloky je realizováno pomocí pinových konektorů pro maximální modularitu. Celý blok je navržen s požadavkem maximální jednoduchosti a účelnosti.

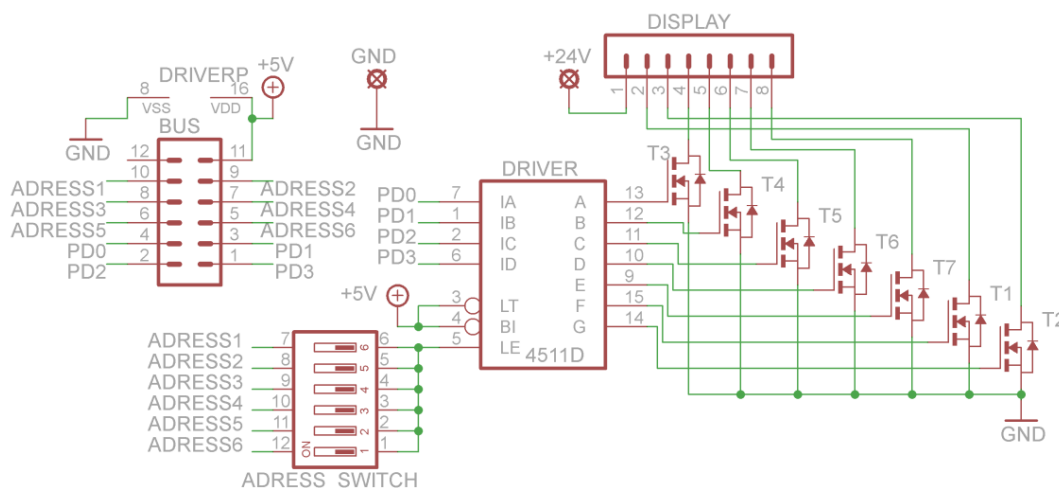


Obrázek 4.2: Elektrické schéma bloku řídicího systému a podpůrných obvodů

Deska oboustranného plošného spoje není větší než 15cm<sup>2</sup>, její výška se zapojenými konektory nepřesáhne 12mm. Kromě konektorů jsou použity výhradně SMD součástky. Deska je koncipována jednoduše a prakticky. Rovněž byla při návrhu DPS zohledněna elektromagnetická kompatibilita (EMC). Při práci na tomto projektu byl použit program EAGLE společnosti CadSoft.

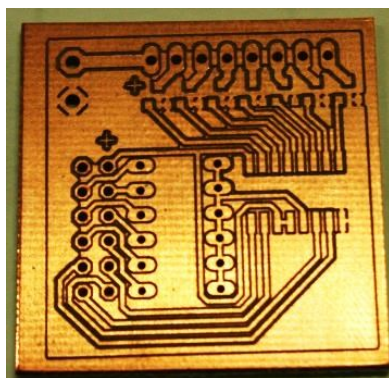
### 4.1.2 Bloky řadičů displejů

Došlo k přidání integrovaných obvodů 4511, což značně zkomplikovalo umístění již poměrně rozsáhlé elektroniky na jednu DPS. Nyní je DPS rozložena do sedmi jednotlivých desek, což současně usnadňuje výměnu jednotlivých součástek v případě jejich poškození. V případě nutnosti HW vylepšení řídicí desky nebude nutno nakupovat vzácné IO 4511 ze zahraničních obchodů, ale vymění se pouze řídicí modul. Další známkou modularity je zmíněný adresový přepínač pro určení obsluhovaného displeje (obr.4.3).



Obrázek 4.3: Elektrické schéma bloku řadiče displeje

Tento blok zpracovává data ze sběrnice, kam je zapisuje blok řídící. Pokud je adresa na sběrnici shodná s adresou bloku, aktivuje se obvod 4511. Ten zpracuje binární data na vstupech, převede je do BCD a následně je transformuje na výstup ve tvaru binárních signálů pro jednotlivé segmenty displeje. Tyto signály ovládají unipolární tranzistory, které spínají samotné segmenty napětím 24V. V momentě, kdy se adresový signál na sběrnici změní, nastaví se na vstupu LE logická nula, což zakáže další čtení dat. Touto funkcí se zajistí, že poslední hodnota určená pro tento displej bude zobrazena až do doby, než přijdou nová data adresovaná tomuto konkrétnímu zobrazovači. Tím byla eliminována nutnost neustálých zápisů na displeje, z toho pramenící blikání a nižší svítivost celého panelu.



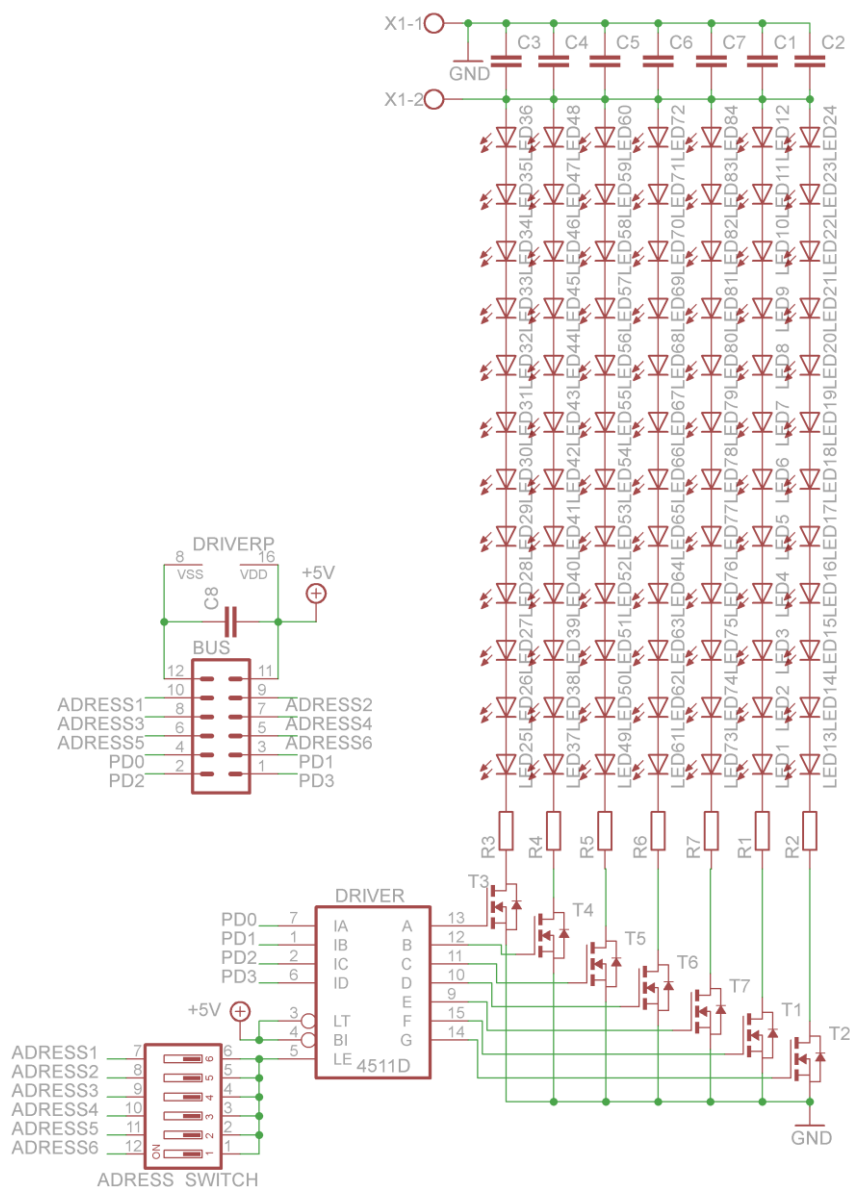
Obrázek 4.4: Neosazená DPS bloku řadiče displeje

### 4.1.3 Bloky displejů

Tyto bloky sestávají ze samotných zobrazovačů o rozměrech 180×107mm. Displeje těchto velikostí se přestaly vyrábět. Po rozvaze, jejíž část je uvedena v kapitole 3.1, byl zvolen postup výroby vlastních zobrazovacích jednotek. Nyní je tedy blok displejů sloučen s blokem řadiče.

### 4.1.4 Bloky zobrazovačů

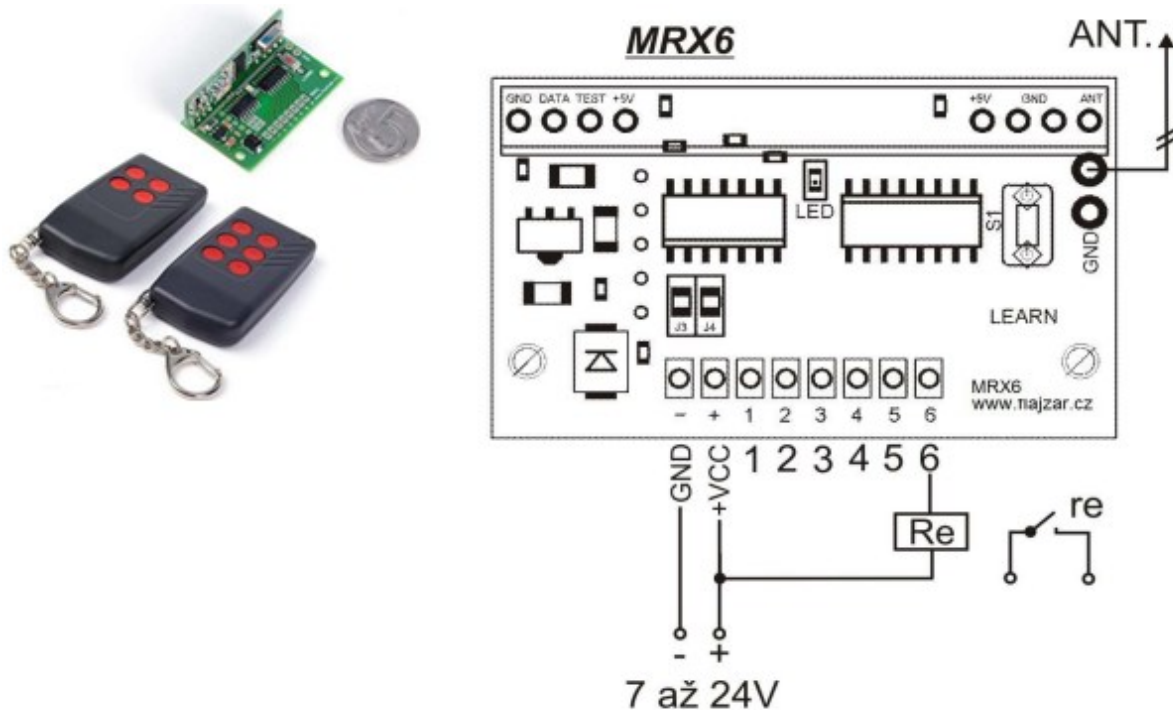
Zobrazovače jsou evolučním nástupcem a sloučením bloku displejů a řadičů. Pramení z toho mnoho výhod, kromě přizpůsobení svítivosti požadavkům je to například odstranění poruchového konektoru či přechodových odporů z propojování u výkonových obvodů.



Obrázek 4.5: Schéma bloku zobrazovače

#### 4.1.5 Blok přijímací jednotky

Tento blok bude jedním ze dvou komerčně vyráběných produktů použitých v této práci. Moduly vysílače a přijímače jsou produkty firmy Flajzar, která je vyrábí jako svůj produkt s patentovými právy.



Obrázek 4.6: Ilustrační obrázek a schéma bloku přijímače

V průběhu vývoje této práce byl modul několikrát upravován. Došlo k odstranění převodníku úrovní, tím lze napájet přijímač 5V. Důvod k tomuto opatření pramení z časového multiplexu. Tento časový multiplex spínal segmenty displejů z napájecího napětí, což ovlivnilo jeho tvar, frekvence přepínání se však negativně podepsala na zpracování slabého (vzdáleného) signálu z vysílače. V praktických podmínkách pak tento dosah nepřekročil 5 metrů, což bylo desetkrát méně, než uváděly informace v dokumentaci modulu. Po přepojení na stabilizovaných 5V se dosah zvýšil na 30m, což je vzhledem k rozměrům hřiště na volejbal, která jsou z uvažovaných herních polí největší, více než dostačující.

#### 4.1.6 Blok Bluetooth komunikace

Tento blok má sloužit k pohodlnějšímu ovládání světelné tabule pomocí Android zařízení s podporou BT komunikace, které mi bylo pro tuto práci doporučeno.

Výhodu lze spatřit zejména v přehlednějším nastavení sportu. Nevýhodou je možné poškození mobilního zařízení při aktivním zapojení do hry. Pro původní koncept tabule, který klade důraz na jednoduchost, odolnost a cenu je přidání tohoto bloku v přímém rozporu.

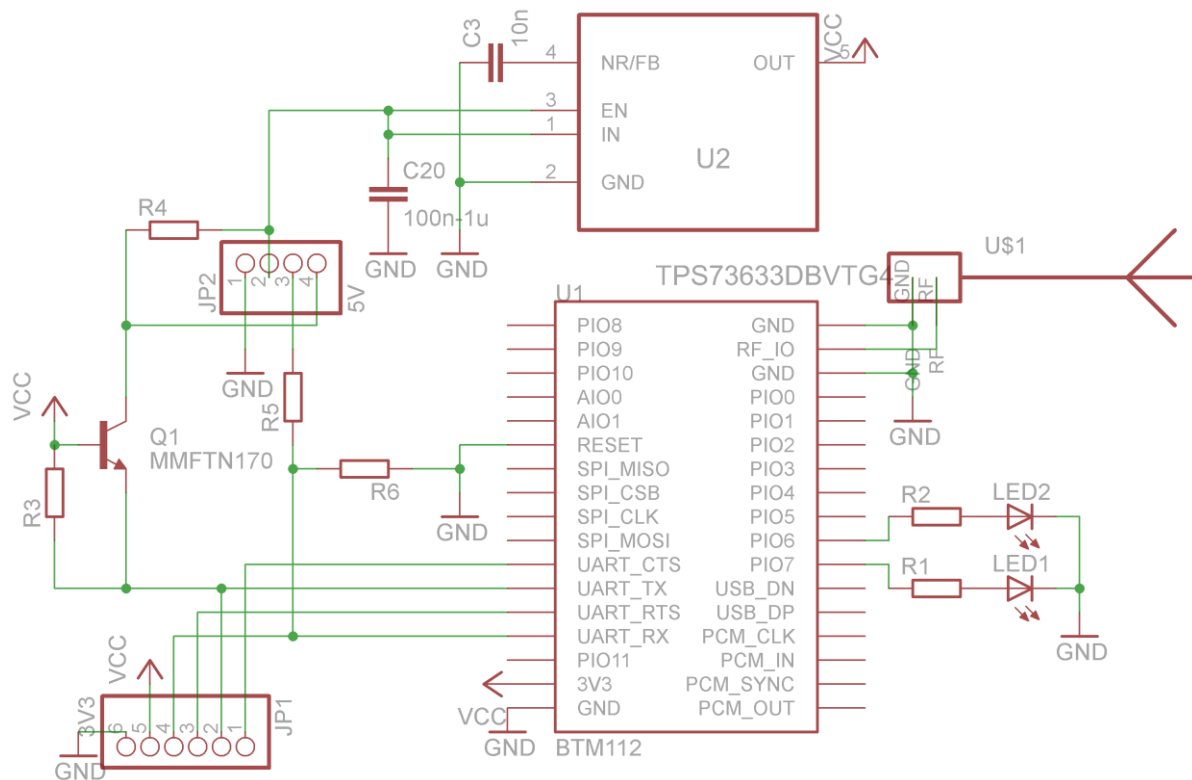
Aplikační software je zobrazen na obrázku 4.7. V aplikaci je komunikace realizována posíláním definovatelných znaků prostřednictvím sériové linky. Podobně jako koncept celého projektu byl kladen důraz na jednoduchost a odolnost proti chybám. Proto nechybí potvrzovací dialogová okna pro restart, nebo přepnutí sportu, při kterém se rovněž vynuluje skóre. Ve fázi úvah je možnost přepnutí manuálního nebo automatického nastavování jasu ukazatele. Náhled do aplikace je vidět v obrázku 4.7.



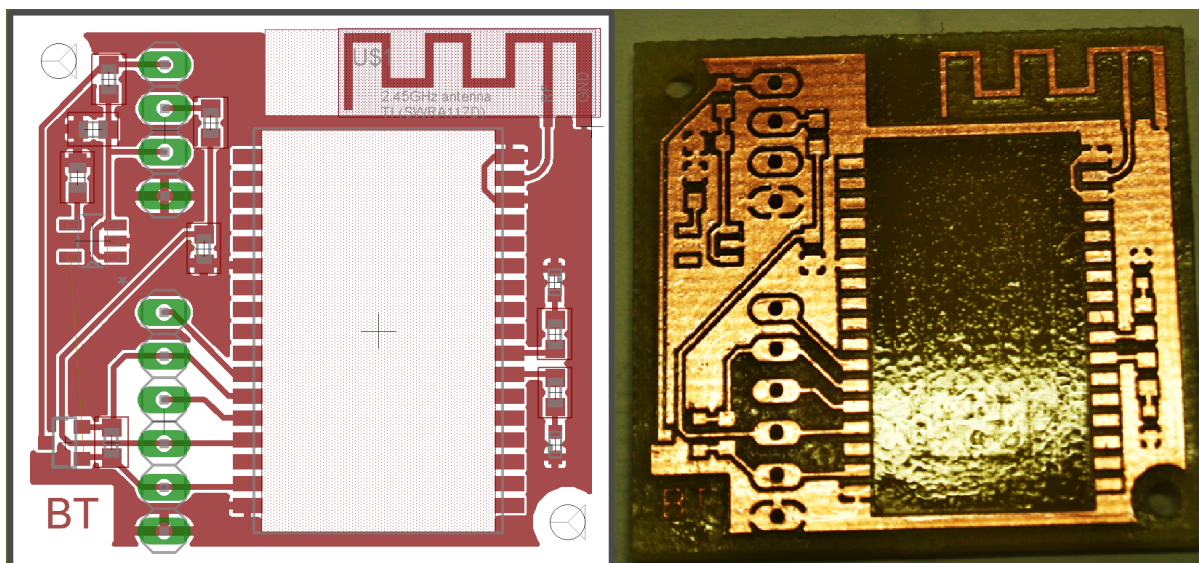
Obrázek 4.7: Aplikační software, přehled oken

Po HW stránce bylo nutno BT blok navrhnout tak aby zvládal komunikaci s chipem pomocí sériového rozhraní. Pro univerzalitu použití byla deska navržena pro TTL i LVTTTL úroveň chipů, tedy pro IO s 3,3V i 5V logikou. O převod mezi úrovněmi se stará meziúrovňový převodník. Na straně čtení RX (myšleno pro BT modul) je realizován napětovým děličem a na straně zápisu TX je realizován unipolárním tranzistorem. Pro napájení bylo použito nejnovějšího stabilizátoru napětí od firmy Texas Instruments, které firma zaslala jako vzorek. Jako anténa byla použita anténa na DPS. Blok dále obsahuje filtrační a vazební kondenzátory a dvě LED kontrolky pro signalizaci činnosti. Při návrhu bylo nutno dbát na EMC a obzvláště pak na vhodné zapojení antény. Vzhledem ke složitosti nebylo jednu cestu možno zapojit na desce, a proto byla realizována vzdušným spojem. Schéma je vidět na obrázku 4.8 Deska vyexportována z programu Eagle a deska po výrobě je vidět na obrázku 4.9.





Obrázek 4.8: Schéma návrhu BT bloku



Obrázek 4.9: Deska z programu EAGLE (vlevo) a vyhotovená neosazená deska.(vpravo)

#### 4.1.7 Blok spínaného zdroje

Tento blok zajišťuje napájení celé soustavy. Je komerčně vyráběným produktem dostupným na trhu od mnoha firem. Používá se do domovních sítí k napájení infrastruktury napětím 24V. Splňuje normy pro bezpečnost i kvalitu výstupního signálu. Má zabudovány ochrany proti přetížení, zkratu a přepětí. Tyto vlastnosti jsou využity v ukazateli a spolu s tavnou pojistkou na vstupu síťového napětí a ochranou diodou a řídicím modulem poskytují přiměřenou bezpečnost celého zařízení.



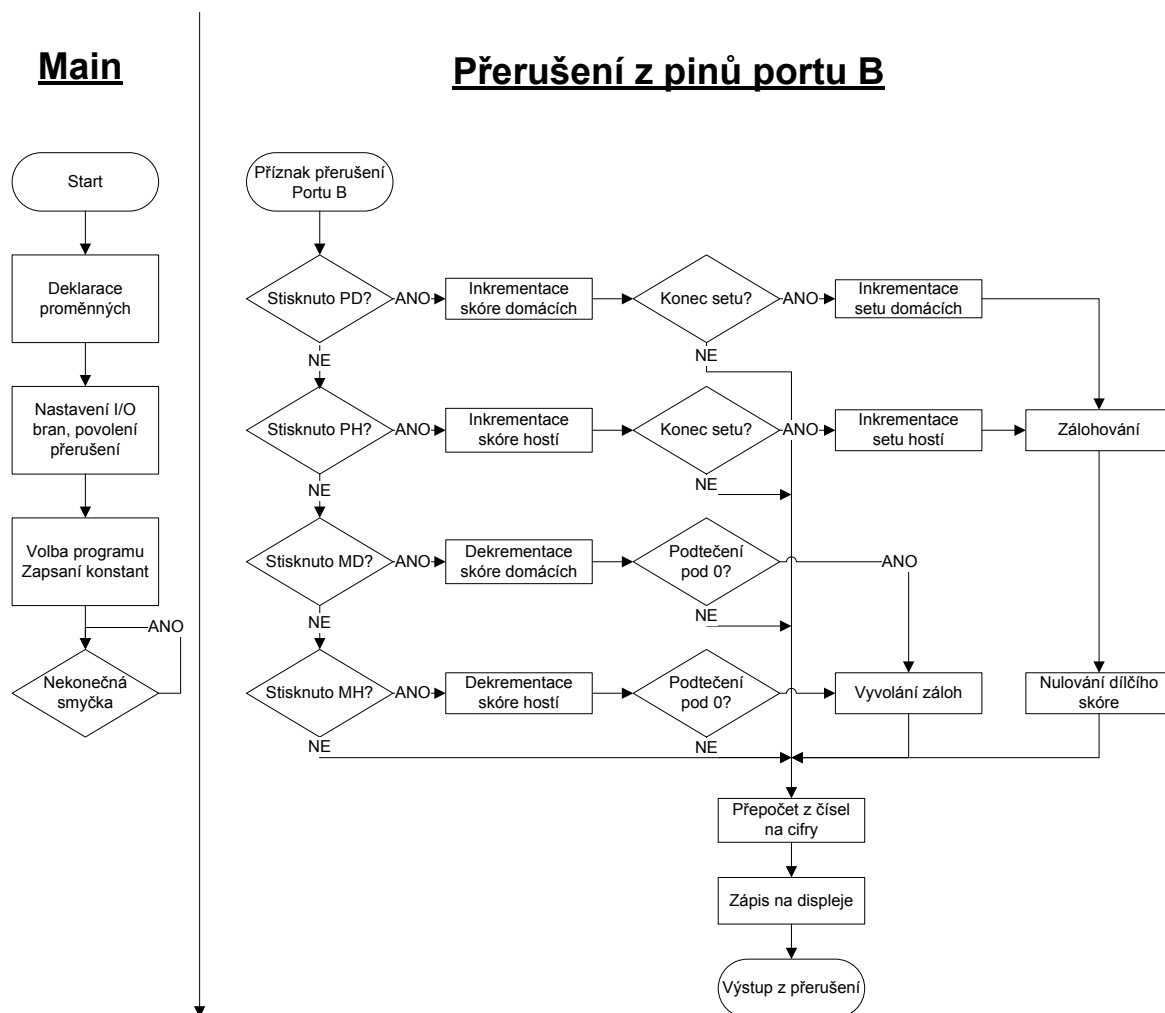
Obrázek 4.10: Ilustrační obrázek použitého spínaného zdroje

Na vstup je přivedeno síťové napětí pomocí síťového kabelu T3 užívaného u osobních počítačů. Před vstupem energie do zdroje je pro případ chyby ve zdroji zařazena tavná 10A pojistka. Rovněž se zde nachází hlavní vypínač. Následuje samotný spínaný zdroj nastavený na 26V. Tato hodnota je nastavena pro udržení ideálního pracovního bodu displejů. Ze zdroje vedou dva vodiče, oba jsou vyvedeny do distribučních svorkovnic kabelem 24V přes jednopólový vypínač.



## 4.2 Blokové schéma aplikačního SW

Aplikační SW neboli kód programu je sestaven v jazyce C. Tento blokový diagram byl tvořen podle koncepce „Rozděl a panuj“ která zmiňuje pouze funkčnost na úrovni bloků a nezabíhá do elementárních výpočtů probíhajících právě v těchto blocích.



Obrázek 4.11: Blokový diagram aplikačního SW

Hlavní operace v tomto programu se nacházejí v přerušení. Hlavní smyčka slouží pouze k nastavení celého systému a volbě sportu. Po těchto nastaveních program setrvá ve smyčce „while“.

Přerušení se vyvolá kdykoli po inicializaci programu přivedením logické jedničky na jeden z datových vstupů portu B. Poté program rozlišuje, který pin přerušení způsobil. Tento úkol v minulosti řešily kaskádní „if-then-else“ funkce, v nové verzi je nahradí struktura „case“. Po zjištění, které tlačítko bylo na ovladači stisknuto, jsou provedeny podprogramy vyhodnocující hazardní a konečné stavy. Kvůli hazardnímu stavu podtečení pod nulu je v inicializované paměti místo pro ukládání starých výsledků. V případě, že dílčí skóre vyhovuje podmínkám pro ukončení setu, set se vyhodnotí, dílčí skóre se vynuluje a vše se zálohuje. Dalším nutným krokem je rozdělení

dvojciferného čísla na dvě cifry, které se posléze posílají řadičům k zápisu na displeje. Následně se přerušení ukončí a čeká se na další podnět.

### 4.3 Odlišnosti her a jejich implementace do programu

Jak lze vidět na obrázku 4.6 v sekci „hlavní smyčka“, operátorovi je po zapnutí dána možnost zvolit sport. Na výběr má mezi volejbalem, nohejbalem, petanquem a funkcí zápisníku.

#### 4.3.1 Volejbal

Volejbal se hraje, podle oficiálních pravidel [8], do 25 bodů na rozdíl dvou bodů. Výhra hry a překlopení do nového setu se tedy děje například při skóre 25:20; 29:27 atd. Program umí jak inkrementovat tak dekrementovat skóre obou týmů a je vybaven pokročilou logikou pro potlačení lidských chyb. Například samotná mínus tlačítka eliminují náhodné nebo neúmyslné přičtení bodu špatnému družstvu. V posledních verzích programu byl tento mechanismus implementován i do překlápění setu, a to zálohováním každé nerozhodující kladné změny a možností vyvolání záloh při podtečení pod nulu. Například pokud míč udeří do klíčenky na krku operátora ve stavu 26:25 a sepne kontakt družstva mající 26 bodů, systém provede analýzu a překlopí set, skóre po těchto krocích bude vypadat následovně: sety 1:0 skóre 0:0. Toto byla chyba, která nebyla v raných fázích programu ošetřena, ale měla fatální následky pro použitelnost celé světelné tabule. V nové verzi stačí stiskem jakékoli minusové klávesy na ovladači vyvolat zálohy, které se okamžitě načtou. Skóre potom bude mít původní tvar: sety 0:0 skóre 26:25.

#### 4.3.2 Nohejbal

Nohejbal, navzdory podobnosti v názvu, má jiná pravidla [9]. Vítězí zde družstvo, které jako první získá 10 bodů, a to bez ohledu na rozdíl. Zápas tedy může skončit 10:9, stejně jako 10:1. Samozřejmostí je překlápění skóre do setů a využití zálohovacích a obnovovacích mechanismů

#### 4.3.3 Petangue

Poslední sport, který je naprogramován v řídicí jednotce je Petangue. Ten se podle pravidel [10] hraje do 13 bodů, opět bez nutného rozdílu. Hra v Petangue proto může skončit 13:0 stejně jako 13:12. Po vítězství se počítá s vynulováním skóre. Displeje setů budou v tomto módu nevyužity.

#### 4.3.4 Zápisník

Funkce zápisník je zde doplněna na žádost zadavatele a má poskytovat možnost širšího využití. Bude zde možnost ovladačem inkrementovat a dekrementovat v rozsahu 0-999, přičemž váhově nejvyšší cifra bude zobrazena na ukazatelích setu. Při přetečení rozsahu se nastaví inicializační hodnota, tj 0. Přetečení bude ošetřeno zálohou, podobně jako v předchozích módech

#### 4.3.5 Implementace do programu

Program je vytvořen tak, aby při úvodní volbě sportu nastavil do paměti konstanty, které jsou stěžejní pro mód podle jeho pravidel, a až do příští inicializace je měl pevně uchovány. Další možností by bylo využití EEPROM a zapisování konstant i záloh zde, to by však znamenalo nutnost přidání

sekvencí pro mazání EEPROM a dalších ovládacích prvků, což by bylo v rozporu se záměrem vytvoření aplikace, jejíž požadovanou předností je jednoduchost. Při každém spuštění se počítá s novým zápasem, a tedy i nulováním a nastavováním modu. Načítání z EEPROM by bylo přímo v rozporu s touto funkcionalitou.

Mód	Tlačítko na ovladači	Rozhodovací úroveň	Nutný rozdíl k překlopení	Funkce displeje setu	Zálohování & obnovování
Volejbal	PD (1,1)	25	2	Sety	Ano
Nohejbal	PH (1,2)	10	0	Sety	Ano
Petanque	MD (2,1)	13	0	null	Ano
Zápisník	MH (2,2)	100	0	Nejvyšší cifra	Ano

*Tabulka 4.1: Funkcionalita programu*

V tabulce 4.1 byla shrnuta základní funkčnost a konstanty pro načtení do programu. Ty se načítají při inicializaci, a to pomocí rozhodovací sekvence „case“. Program je součástí příloh.

#### **4.4 Výroba zobrazovačů**

Teoretický rozbor nejvhodnější techniky a nejlepších vlastností zobrazovačů pro lidské vidění byl proveden v kapitolách 2 a 3.2. Tato kapitola pojednává již o samotné stavbě a dále nerozebírá důvody voleb jednotlivých technologií a komponent.

Velikost a celkový vzhled displejů byl volen s ohledem na zpětnou kompatibilitu, tedy s rozměry starých zobrazovačů (tj. 180×107mm). Nový sedmisegmentový displej má zabudován řadič s obvodem 4511. Každý segment se skládá z 12 LED v pouzdře SMD 1206, jednoho odporu v téže pouzdře, tranzistoru pro sepnutí a filtračního kapacitoru. Pro propojení na sběrnici slouží standardizovaná dvouřadá pinová lišta s roztečí 2,54mm, a pro připojení na napájení byly použity WAGO svorky. Poslední použitou součástí je adresový switch, jehož užití bylo objasněno v kapitole 4.1.2.

#### 4.4.1 LED

. Při výběru LED pro výrobu zobrazovačů bylo přihlédnuto k těmto parametrům:

##### 4.4.1.1 *Svítivost*

Svítivost bude regulována podle okolního světla, proto není nutno ohlížet se na maximální svítivost z důvodů nepříjemnosti ostrého světla pro pozorovatele. Pokud by zde regulace nebyla, jak bylo v předchozích verzích, byl by nutný kompromis mezi velkým jasem v noci a špatnou viditelností za přímého slunečního svitu.

##### 4.4.1.2 *Barva*

Jak bylo výše uvedeno, barva byla zvolena s ohledem na maximální rozestup a tedy rozlišitelnost specifických vlnových délek, rovněž bylo snahou volit barvy obecně lépe vnímatelné a příjemné lidskému zraku.

##### 4.4.1.3 *Plocha, vyzařovací úhel, pouzdro součástky*

Tyto parametry napomáhají dobré viditelnosti. Důležité je, že musí být u obou barev shodné, není žádoucí, aby byl výsledek každého družstva ze stejného úhlu jinak zřetelný. Rovněž je třeba vybírat standardní pouzdra s ohledem na reprodukovatelnost výrobku pro případnou výrobu. Nepochybně lze najít LED, které mají lepší parametry než ty ve standardizovaných pouzdrech, nicméně už jen najít dvě odlišné barvy ve stejném pouzdře je takřka nemožné, a to i v zahraničních obchodech.

##### 4.4.1.4 *Úbytek napětí, proud*

Snahou bylo vybrat součástky, které při stejné svítivosti a odlišné barvě budou mít shodný úbytek napětí a při sériovém řazení co možná nejnižší shodný proud. Stejný úbytek napětí je žádoucí z důvodů rozdílné svítivosti při stejném napájecím napětí. Tedy pokud by byly použity LED s modrou barvou a úbytkem na PN přechodu 3V a červené s úbytkem 2V znamenalo by to při napájecím napětí 25V použití 8 modrých ledek (úbytek 24V) a 8 červených (úbytek 16V). Rozdíl mezi úbytky na sériovém řazení a napájecím napětí by se musel kompenzovat rezistorem, kde by se ztrácela, v případě červených LED, až třetina energie. Rovněž vzhledem k viditelnosti je lepší užít co největší počet diod, za předpokladu jejich stejné svítivosti.

##### 4.4.1.5 *Chlazení, výkon*

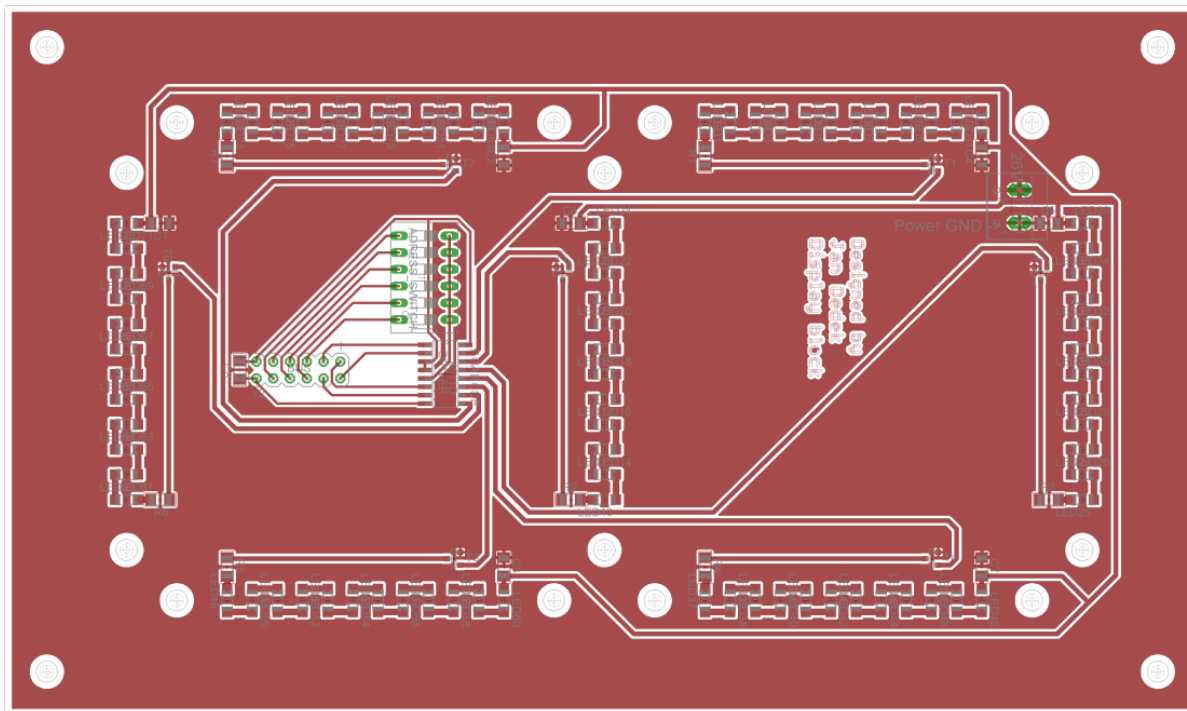
Protože je výsledek celé práce koncipován jako mobilní přístroj, to nese jisté nároky na ztrátový výkon, s ním související chlazení. To ovlivňuje celkový výkon a od toho se odvíjející použití součástek ve výkonových obvodech, použitý zdroj stejnosměrného napětí a pochopitelně odběr elektrické energie ze sítě. Požadována je udržitelnost provozu na akumulátory. Z výše uvedených důvodů není možné zakomponovat do tohoto výrobku výkonové LED s vysokou svítivostí.

Byly tedy vyhodnoceny priority těchto vlastností a byly vybrány tyto součástky: LED v SMD pouzdře 1206 se svítivostí 120mcd, vyzařovacím úhlem 120°, čistou plochou pro vyzařování 3,2mm<sup>2</sup>, úbytkem napětí na PN přechodu 2V a dlouhodobým proudem 30mA v barvách červená (charakteristická vlnová délka 620nm) a žlutá (588nm). Tyto LED budou zapojeny do série

v celkovém počtu 12 diod na segment, což bude dostatečný počet vzhledem k velikosti segmentu bez nutnosti řadit diody sérioparalelně.

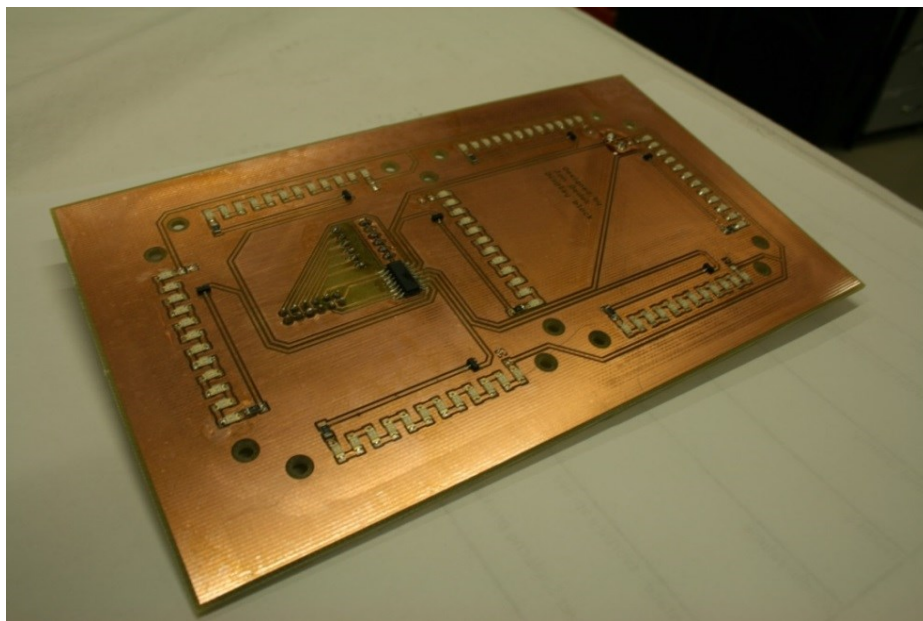
#### 4.4.2 DPS, zobrazovač

Podobně jako všechny vyráběné DPS použité v této práci byla vyhotovena suchou cestou neboli frézováním. Na obr. 4.12 je vidět první displej, který měl potvrdit teoretické předpoklady, tedy prototyp. Velikost desky je shodná s velikostí původních displejů, znaky však nejsou sklopené, a je lépe využito místo, takže čísla se na tomto zobrazovači jeví větší. Jeden segment má délku 50mm, šířku 10mm. Experimentální zobrazovač byl osazen následovně: Tři segmenty byly osazeny žlutými LED, tři červenými a zbývající jeden segment byl kombinací obou barev v poměru 1:1. V každém segmentu je vřazen do série k LED rezistor. Každý segment je spínán unipolárním tranzistorem. U tranzistorů jsou kapacitory, které plní filtrační funkci. Tento návrh se snaží o dodržení EMC, a to zejména způsobem zapojení tranzistorů umístěných tak, aby byly proudové smyčky co nejmenší. Pro případ použití mechanického ohraničení segmentů jsou zde otvory pro vrtání. Otvory na okraji desky slouží pro připevnění k samotné tabuli. Napájení se přivádí WAGO svorkami, data pomocí sběrnice. Jelikož je silová zem přerušována pulzně šířkovou modulací pro regulaci intenzity svitu displeje, bylo nutno využít sběrnici pro přivedení země, která zajišťuje kontinuální napájení obvodu 4511. Ten by při ztrátě napájení nebo jeho spínání nefungoval korektně. Mezi zemí a napájením na sběrnici je rovněž filtrační kondenzátor.



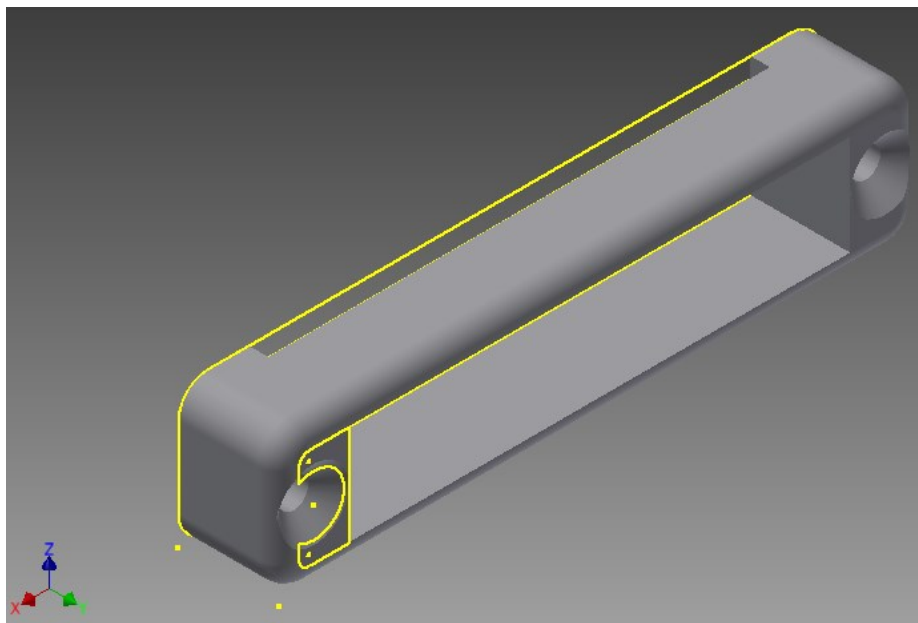
Obrázek 4.12: Deska plošného spoje z programu EAGLE

Stav zobrazovače po vyfrézování, napastování, osazení součástkami, zapečení v peci a po ručním dopájení konektorů a WAGO svorek viz obr. 4.13.



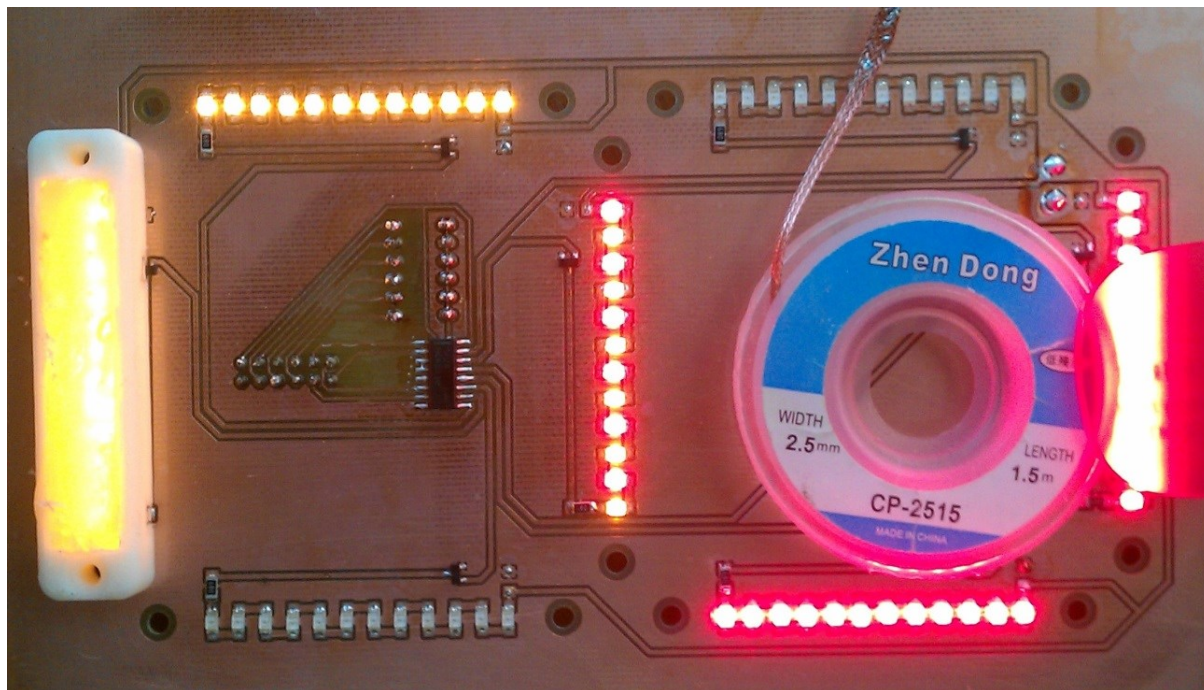
Obrázek 4.13: Vyrobený zobrazovač

Tento zobrazovač byl vyroben pro experimentální účely a jedním z plánovaných experimentů byla výroba mechanického ohraničení segmentu a jeho naplnění epoxidovou pryskyřicí popřípadě jiným difúzním materiálem. Segment byl vymodelován ve studentské verzi počítačového programu Autodesk Inventor a vytisknut na 3D tiskárně. Místo epoxidové pryskyřice mi bylo doporučeno pro realizaci experimentu použití náplně z tavné pistole, která se po vychladnutí zakalí podobně, jako tomu mělo být v případě zamýšlené výplně.



Obrázek 4.14: Vymodelovaný zobrazovač

Druhou možností bylo použití čelního plexiskla, které bude opálově zakalené, bude tedy mírně štěpit světlo. K tomuto experimentu byl použit vzorník plexiskel. Na obrázku 4.15. lze vidět oba experimenty, plexisklo je podepřeno odsávacím lankem pro simulaci vzdálenosti uložení displeje od plexiskla. Na této fotografii lze také odpozorovat odlišnost barev. Zobrazená cifra 2 má segment A a B rozsvícen červeně, D a E svítí žlutě a prostřední segment F je kombinací obou barev. Ostatní segmenty, tedy C a F, jsou zhasnuty.



Obrázek 4.15: Experimentální ověření možnosti difúze světla

Jako finální možnost, určená k dalším experimentům, bylo zvoleno využití plexiskla. Při rozhodování mezi těmito možnostmi byl kladen důraz na mechanickou odolnost, opravitelnost a pochopitelně cenu a hmotnost. Vezmeme-li v potaz křehkost a cenu materiálu pro 3D tisk, je jeho použití nerentabilní oproti plexisklu. Také samotné segmenty s náplní by zvýšily hmotnost přibližně o půl kilogramu. Rovněž poškození kterékoliv součástky zalité v epoxidové pryskyřici by vyžadovalo nahrazení celého zobrazovače. Naopak krycí plexisklo na zobrazovači být musí, a proto se jeví jeho využití nejúčelnější.



## 5 Experimentální měření

Pro prokázání pokročilých vlastností celého systému bylo nutno realizovat několik měřicích experimentů

### 5.1 Měření světelných vlastností zobrazovačů

Vyrobený zobrazovač z předchozí kapitoly bylo třeba proměřit. Jednalo se zejména o světelné vlastnosti, které jsou pro tuto práci stěžejní, a to o průměrný jas segmentu, průměrný jas pozadí a kontrast, který je poměrem těchto dvou hodnot.

Pro měření na co nejvyšší úrovni bylo nutno kontaktovat kolegy z laboratoře zabývající se tímto oborem. Měření bylo prováděno ve speciální temné místnosti s následujícími přístroji: Fotoaparát LMK mobile advanced, stativ, a pro vyhodnocení pak SW stejnojmenné firmy LMK, Lab soft. Tato měřicí technika je velmi nákladná a vyráběna na zakázku, v celé Evropě je jen několik desítek kusů této soupravy Fotoaparátu a Softwaru k němu. Proto byla nutná spolupráce s někým, kdo tyto technologie vlastní.

#### 5.1.1 Část první - měření zobrazovače s lesklým pozadím

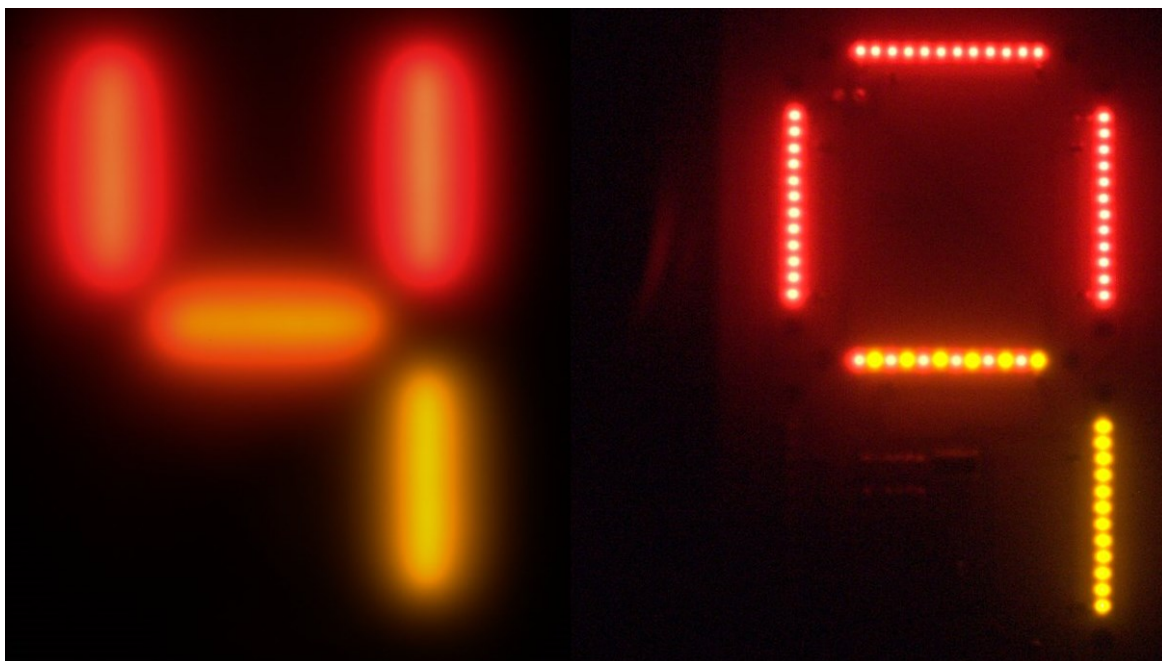
V první fázi měření byl měřen displej v takovém stavu, jak je zobrazen na obrázku 4.15. Pozadím byla měď. Pro zvolení co nejlepšího difuzoru, plexiskla, do finální konstrukce bylo nutno vyzkoušet a proměřit různé vzorky těchto materiálů. Pro jednoduché rozlišení jednotlivých druhů plexiskel se pro každý vzorek změnilo číslo. V jednom případě se číslo nepřepnulo, a to u čísla 7, odlišnosti jsou však rozpoznatelné.



Obrázek 5.1: Souhrn fotek všech materiálů

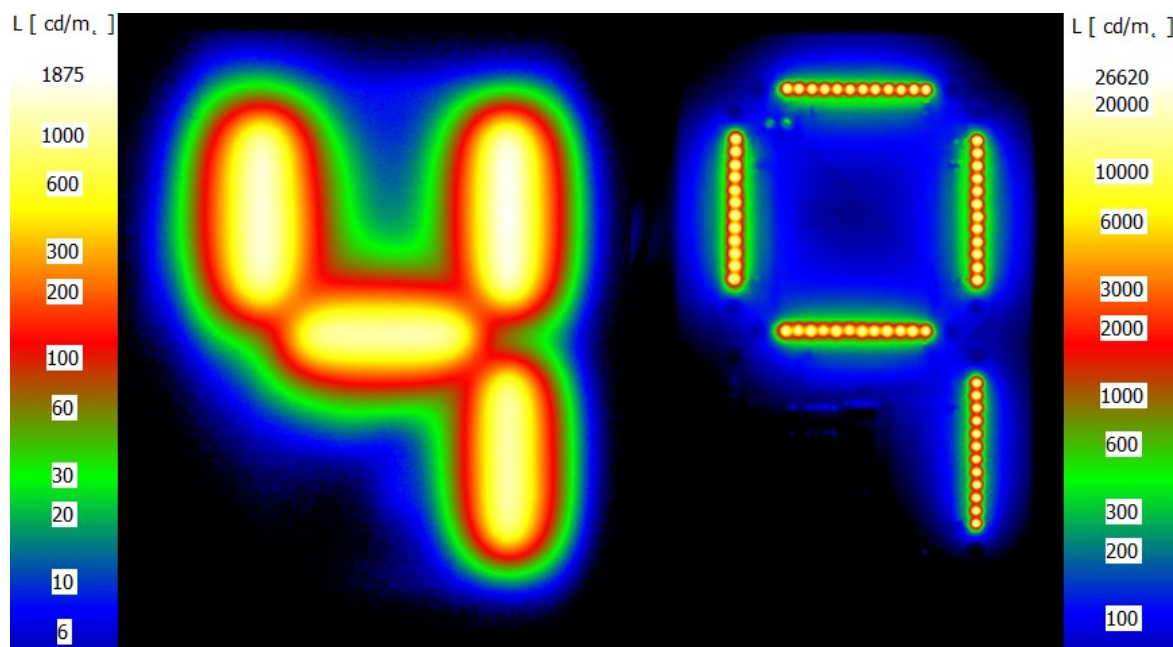


Materiály pro rozklad světla by se daly dělit na dvě skupiny. Ty materiály, u kterých je rozptyl světla malý, čirá skla, a ty, u kterých je velký, mléčná skla. V měření byly zastoupeny obě skupiny a to v různých propustnostech světla i tloušťkách.



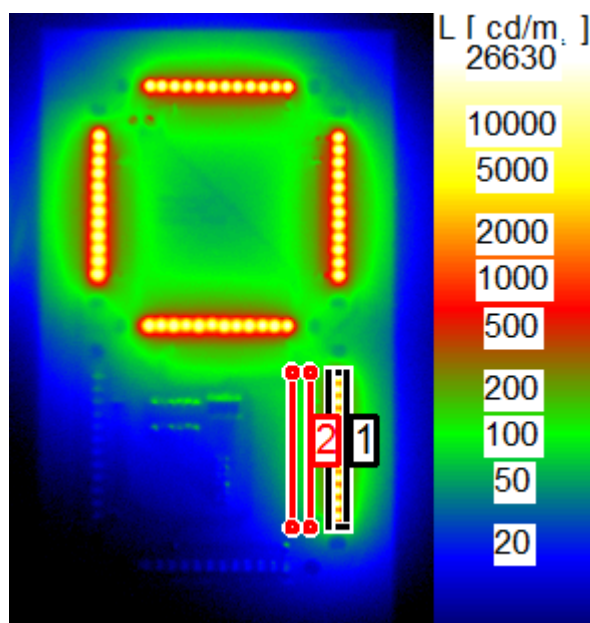
Obrázek 5.2: Jedno z mléčných plexiskel (vlevo) a čiré plexisklo (vpravo).

Z takto pořízených fotografií byla provedena takzvaná jasová analýza. Nejprve proběhlo škálování jasů, tedy hodnota jasů byla přiřazena barvě. Na obrázku 5.3 je vidět stupnice a tedy i jas pro dva různé vzorky plexiskel.



Obrázek 5.3: Jasová analýza. Mléčné plexisklo (vlevo), čiré plexisklo (vpravo).

Samotná jasová analýza spočívá v označení prostoru, který má zářit, v našem případě segment displeje, a ve výpočtu průměrného jasu. Toto číslo však nemá informační hodnotu, protože viditelnost není dána jasem, ale kontrastem jasu svítidla oproti jasů pozadí. Proto byla označena stejně velká plocha v bezprostřední blízkosti segmentu a rovněž byl vypočten průměrný jas. Obě hodnoty jasu v podílu dají hodnotu kontrastu. Tato hodnota se u měřeného plexiskla pohybovala v rozmezí 1:25 u mléčného vzorku č 4 a 1:44 u takřka čirého materiálu č 9, viz obr. 5.4. U mléčného skla je takto nízká hodnota pochopitelná, světlo se rozptýluje do větší plochy, což je výhodné u osvětlení, nikoliv u systémů předávajících informační hodnotu. U vzorku č 9 byl kontrast značně vyšší, avšak z obrázku 5.4 je vidět, že značná část vyzářeného světla se odráží a vzniká tak jas na místech kde není žádoucí a tím snižuje kontrast. V této fázi bylo měření přerušeno do doby, než se zmatní a zatemní pozadí displeje.



Obrázek 5.4: Jasová analýza. Měření kontrastu. Segment svítivý 1 a pozadí 2.

Výsledkem této části měření bylo zjištění, že mléčná skla pro tuto aplikaci nejsou vhodná. Pokud by na takové sklo s vysokým rozptylem svítilo slunce nebo jiný silný zdroj záření, například halogenová svítidla běžně používaná na sportovištích, mělo by to za následek ztrátu informace nebo minimálně její špatnou čitelnost. To se samozřejmě může stát i u čirých materiálů, avšak tady je energie světelného zdroje směřována do menší plochy, a tak situace, kdy vnější světelný zdroj přesvítí zobrazovací jednotku, nastane zřídka nebo vůbec. Rovněž bylo zjištěno, že čistá měď příliš odráží světlo, a proto se bude muset upravit povrch plošného spoje, aby byla odrazivost co nejmenší.

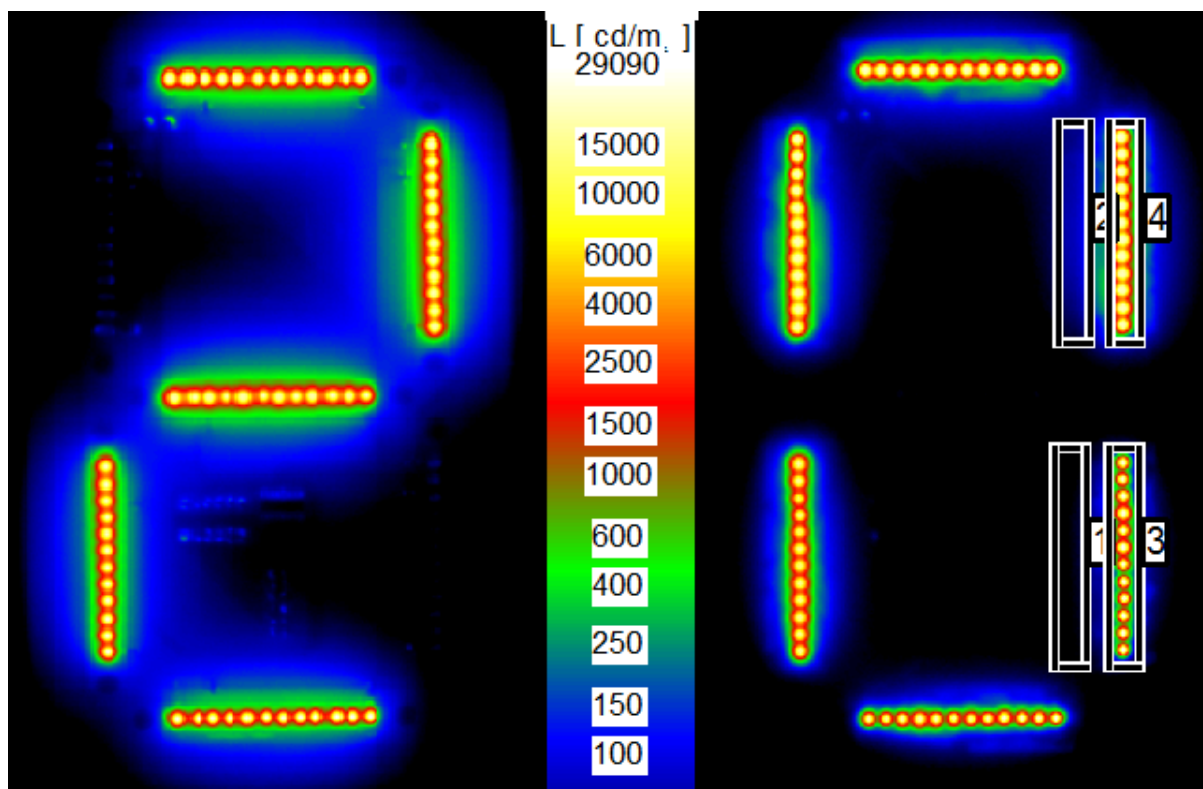
### 5.1.2 Část druhá - měření zobrazovače s upraveným pozadím.

Po rozvahách plynoucích z první části experimentu bylo možno zajistit matné a temné pozadí displejů různými způsoby. K tomu účelu by se nabízela černá látka drsné struktury, například džínovina, manšestr, případně bavlna. Použití takového materiálu by však vedlo k degradaci bezpečnosti produktu z hlediska odolnosti proti vlhkosti, a požáru. Při provozu ve venkovních podmínkách se může vlhkost dostat do přístroje a látka na displeji by mohla vodu absorbovat a posléze zkratovat kontakty SMD součástek, a to i přes ošetření lakem. Dalším nebezpečím je vznik požáru, protože každá součástka může být potenciálním zdrojem žáru.

Další možností řešení je nabarvení celé DPS černou, ideálně matnou barvou. Toto řešení pravděpodobně nebude mít tak dobré vlastnosti jako textilní podklad, jeví se však jako vhodný kompromis mezi zlepšením světelných vlastností a bezpečností.

Vybrána byla matně černá akrylátová barva ve spreji, standardně užívaná pro lakování aut. Zobrazovač byl celý kromě segmentů, kde byla snaha zakrýt je páskou, nalakován touto barvou, následně byly zkontrolovány diody a jejich čistota. Po zaschnutí byl domluven termín druhé fáze měření zobrazovače.

Měření bylo provedeno shodným postupem a stejnými přístroji jako v první fázi experimentu. Byla měřena pouze čtyři plexiskla. Tři, ze kterých mělo být vybráno, a jedno pro demonstraci nevhodnosti mléčného skla.



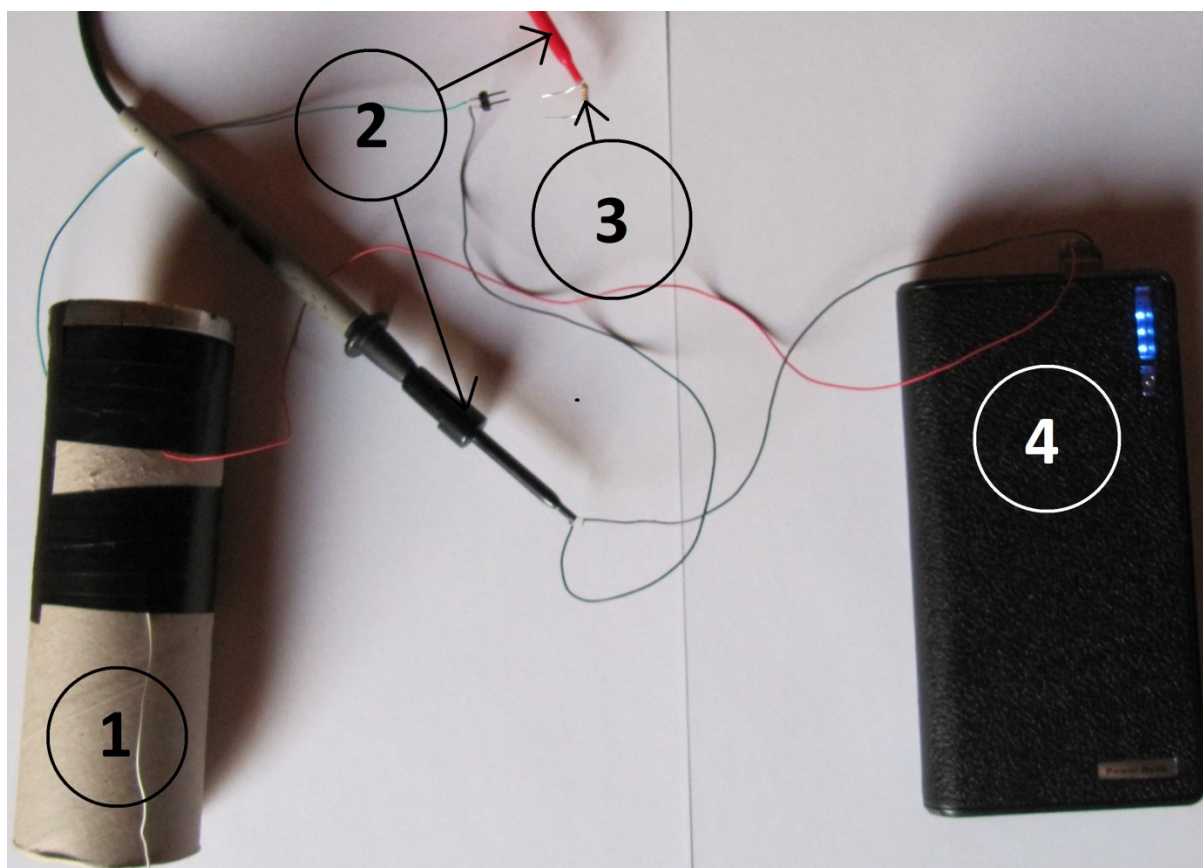
Obrázek 5.5: Jasová analýza. Porovnání světelných vlastností displeje bez nalakovaného pozadí (vlevo) a s matně černě nalakovaným pozadím (vpravo).

Na obr. 5.5 je výsledek experimentu se stejným plexisklem, na levé straně je displej bez úpravy povrchu pozadí a na straně pravé je displej s nalakovaným pozadím. Rozdíly jsou patrné. V prvním experimentu jas z LED osvětloval velkou část plochy zobrazovače a některé součástky, při druhém experimentu se díky matnému černému pozadí jas nikde neodráží a tím jsou segmenty čitelnější. To se odrazilo na zvýšení kontrastu. Zatímco při prvním experimentu je na tomto plexiskle naměřen kontrast přibližně 1:44, v případě druhém byl kontrast přibližně roven 1:130 což je téměř trojnásobek původní hodnoty a více než trojnásobek kontrastu starých LCD televizí [11], tím lze kontrast považovat za dostatečný i s jistou rezervou. Lze si všimnout nepravidelnosti v rozlití světla. Ta je způsobena zatečením laku pod ochranné pásky při lakování a tím i změnu odrazivosti segmentů.

## 5.2 Experimentálně měření osvětlenosti pozadí světelné tabule

Teoretické úvahy a předpoklady z kapitoly 2.4 bylo rozhodnuto odměřit, nastavit pracovní bod fototranzistoru a ověřit možnost fungování celého systému pro automatickou regulaci. Pro implementaci a tento experiment byl zvolen tranzistor SFH309-5, a to zejména kvůli spektrální analýze, která je, podle grafů v katalogu součástky [12], nejbližší spektrálním vlastnostem oka.

Zapojení obvodu pro experimentální měření podle schématu je znázorněno na obrázku 2.4. Jedinou změnou byla záměna AD převodníku za multimetr. Napájení v terénu zajišťovala energetická banka s výstupem na USB konektor. Pro možnou a rychlou záměnu rezistorů bylo použito dvou pinů a nepájivého pole. Pro dodržení směrové charakteristiky fototranzistoru bylo vyrobeno stínítko z papírové trubky. Do přípravku pronikala naprostá většina světla přední částí namířenou na měřený objekt.



Obrázek 5.6: Zapojení pro experimentální měření

Popis obrázku:

- 1) Krycí plášť s fototranzistorem SFH309-5
- 2) Měřicí hroty multimetru (červený = emitor fototranzistoru, černý = záporný pól napájení)
- 3) Měřený rezistor (ilustračně umístěn, měřen byl v nepájivém poli)
- 4) Energetická banka (Powerbank 20000mAh Výstup: 1×2A, 1×1A USB)



Úkolem tohoto měření bylo zajistit relevantní výsledky z místa, kde bude světelná tabule provozována. Obrázek 5.7.



*Obrázek 5.7: Hřiště pro experimentální měření, i s místem pro umístění světelné tabule*

Dále nastavit pracovní bod tranzistoru tak, aby bylo využito rozlišení AD převodníku v řídicím chipu.

Výpočet hodnoty „pulldown“ rezistoru nejprve vycházel z hodnot udaných výrobcem v katalogovém listu. Po provedení první série měření však byly výsledky pouze v rozmezí 0 - 1,5V proto byla tato hodnota ztrojnásobena, aby se předešlo ztrátě informace v okolí nulového napětí.

Měření tedy bylo prováděno s rezistory řady E12 o hodnotách 1k5, 1k8 a 2k2 na různých místech s různou světelnou odrazivostí na třech místech na hřišti, z toho dvě měření přímo na místo, kde bude umístěn ukazatel, tedy zezadu na basketbalovém koši. Měření odrazivosti živého plotu, žlutě omítnuté stěny, auta s černým lakem a nakonec měření s přípravkem namířeným na slunce.

Při měření na každém místě byly co nejrychleji naměřeny všechny tři hodnoty pro co možná nejmenší změnu intenzity osvětlení a spektrálního složení světla v závislosti na čase. Čas pro přepojení rezistoru nezabral více než několik sekund. Měření jednoho místa i s fotodokumentací nepřesáhlo minutu. Celé měření se odehrávalo v době, kdy se standardně hraje, pro maximální relevanci a přiblížení se k hodnotám, které budou zpracovávány v ostrém provozu. Na následující stránce je fotografie z experimentálního měření místa, kde bude ukazatel umístěn (obr 5.8).



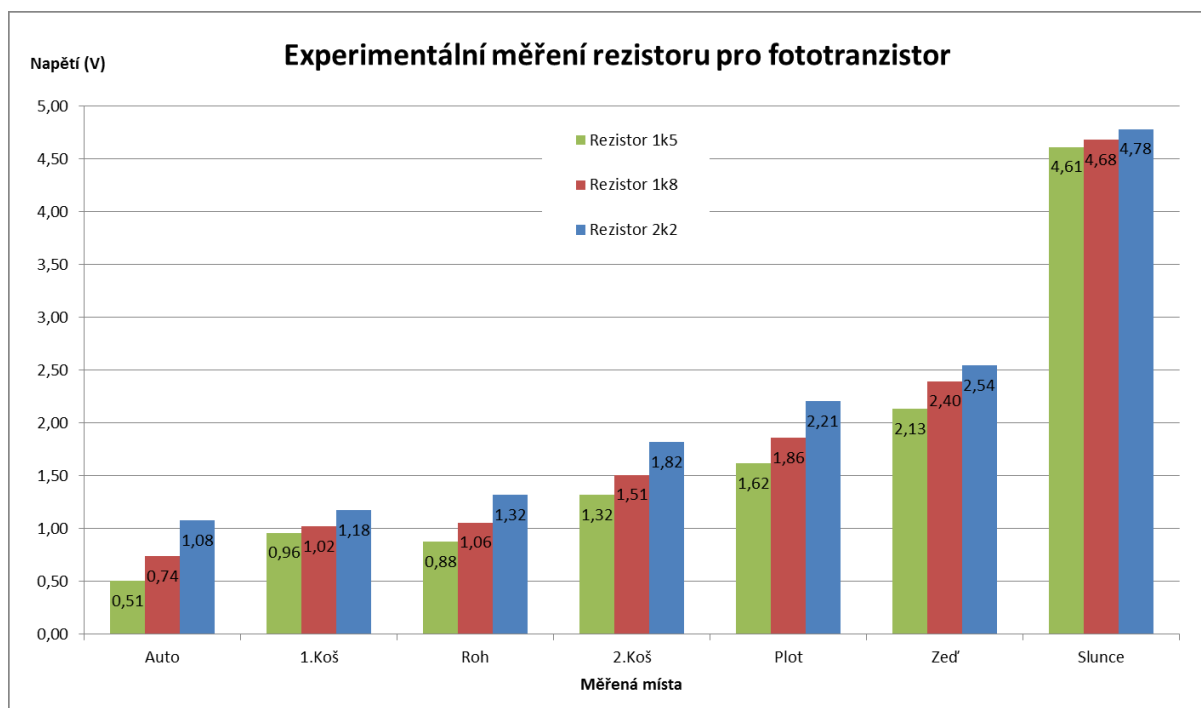
Obrázek 5.8: Experimentální měření umístění ukazatele

Naměřené hodnoty byly vloženy do Microsoft Excelu. Seřazeny jsou zleva doprava od nejnižší po nejvyšší osvětlenost. Napětí bylo změřeno pro každou hodnotu rezistoru. Červeně je označena hodnota z měření zobrazeného na obrázku 5.8.

Měření:	Odrazem						Přímé
Měřený objekt:	Auto	1. Koš	Roh	2. Koš	Plot	Zed'	Slunce
Rezistor 2k2	1,08	1,18	1,32	1,82	2,21	2,54	4,78
Rezistor 1k8	0,74	1,02	1,06	1,51	1,86	2,40	4,68
Rezistor 1k5	0,51	0,96	0,88	1,32	1,62	2,13	4,61

Tabulka 5.1: Tabulka naměřených hodnot experimentu

Na obrázku 5.9 je vidět sloupcový graf pro každý rezistor sloučený pro každé naměřené místo. Původním záměrem bylo umístit zde graf spojnicový, aby vynikla stejná směrnice přímek nepřímého měření pro všechny hodnoty odporů. Bohužel spojnicový graf vyžaduje číselné hodnoty na ose X, což bohužel díky absenci luxmetru v tomto experimentu není reálné.



Obrázek 5.9: Graf pro experimentální měření rezistoru pro fototranzistor.

I přes zobrazení v grafu sloupcovém je zřejmé, že hodnoty napětí mají přibližně charakter přímky. Dále lze z grafu vyčíst, že směrnice přímků pro nepřímá měření jsou téměř shodné, jejich drobná neshoda bude způsobena chybou měření. Z těchto poznatků lze vyvodit následující. Pro každý zapojený rezistor bude účinně využita jen část rozsahu AD převodníku. Vzhledem k možnému rozsahu regulace střidy PWM signálu ovládajícího jas zobrazovačů, a to 100-50%, a užitém rozsahu vyplývajícího z měření přibližně 1,5V, vyplývá, že při každé změně o -30mV se sníží střída o jedno procento. Pokud bude osvětlení pozadí za světelnou tabulí překračovat maximální nastavenou hodnotu (například bude-li senzor namířen na slunce), jas displejů bude stále na maximu. Pokud by osvětlenost byla nižší než stanovená minimální hodnota, jas displejů neklesne pod 50% střidy PWM.



## Závěr

V teoretickém rozboru byly deklarovány cíle práce, rozebrány teoretické předpoklady dán směr pro výzkum a vývoj této práce. Problém malého dosahu ovládací klíčenky byl identifikován a vyřešen. Potíže byly způsobeny přepínáním časového multiplexu vysokou rychlostí 150 - 200× za sekundu. Toto přepínání se nasuperponovalo na napájecí napětí přijímacího modulu a rušilo vysoké frekvence přijímače (434MHz). Tato teorie byla potvrzena, když byl multiplex odstraněn. Dosah se pohybuje za hranicí třiceti metrů. Což je pro účely sportovního ukazatele pro hry, kde je největší hřiště 18×9m, více než dostačující. Odstraněním obsluhy displejů pomocí časového multiplexu se rovněž eliminovalo blikání zobrazovačů. Při teoretickém studiu fyziologie oka a vidění, byla ve stejnojmenné knize [2] nalezena informace, která vyvrací obecně uznávanou frekvenci splývání 25 Hertz jako pevnou, a naopak definuje její závislost na jasu světelného zdroje. Předpokladem tedy je, že za blikání komerčně vyráběných zobrazovacích jednotek s nízkou svítivostí mohla kombinace minimální zvolené frekvence splývání a nízkého jasu. Navrhnut byl model kdy místo synchronní obsluhy jsou displeje obslouženy až při změně údaje, tedy asynchronně a o udržení rozsvícené informace se starají integrované obvody 4511.

Rovněž byl proveden rozbor situace měření jasu. Nejprve obecné předpoklady a možnosti realizace tohoto měření, následně pak realizace experimentu. Ten sloužil k ověření funkčnosti zvolené topologie a zároveň pro výběr hodnot součástek. Tyto cíle experimentu byly splněny, zjištěn rozsah, ve kterém bude regulována svítivost displejů, stanoveny krajní meze, zvoleno nastavení pracovního bodu fototranzistoru.

Hlavním cílem této práce bylo vytvoření displeje, který bude splňovat nároky na světelné parametry a jehož kvalita předčí ty komerčně vyráběné. Vlastní konstrukci předcházelo mnoho teoretických příprav, od výše zmíněné topologie přes výběr součástek až po rady odborníků přes světelnou techniku. Tyto všechny poznatky mířily k výrobě sedmisegmentového displeje, který je ve dvou barvách, které mají téměř stejný jas a kontrast, jehož vlastnosti daleko předčily očekávání. Displeje byly tvořeny s ohledem na modularitu, dají se v rámci jedné barvy zaměňovat a přepínačem volit adresu displeje na sběrnici. Tato modulárnost také vede k lepší opravitelnosti v případě poruchy a rovněž globálně vyšší odolnosti. Také hmotnost a výška zobrazovače je úspornější. Za zmínku stojí též konečná cena, která se pohybuje na méně než polovině ceny displeje pro původní koncept práce.

Pro ochranu displejů a zároveň pro rozptyl světla bylo nutno zvolit krycí plexisklo. Od možnosti realizovat rozptyl pomocí segmentů vytištěných z ABS na 3D tiskárně bylo nakonec upuštěno a to jednak kvůli vysokým nákladům, ale hlavně kvůli zhoršení přístupnosti a mechanických vlastností obecně. V laboratoři pro světelnou techniku byly experimentálně odměřeny vlastnosti různých plexiskel a difuzorů. Jednoznačně z nich vyplynulo, že pro předávání informací se mléčná skla nehodí a to hlavně kvůli zkreslení informace. Na základě odměřených hodnot bylo vybráno plexisklo pro finální výrobek.

Softwarová část práce lze rozdělit na několik dílčích segmentů. Již zmíněná asynchronizace řízení displejů je vylepšena funkcionalitou ovládání pouze toho displeje, na kterém probíhá změna, což šetří systémové prostředky. Dále pak odpadla nutnost konverze do binárních signálů pro

sedmisegmentové displeje. Místo přímé obsluhy se pouze posílá BCD kód po sběrnici, který si zpracuje integrovaný obvod 4511 adresovaného zobrazovače.

Autonomní multifunkční světelný panel má implementován prozatím čtyři algoritmy pro vyhodnocování čtyř různých módu, Volejbalu, nohejbalu, Petangue a funkci zápisníku. Každý sport má svá vlastní pravidla pro vyhodnocení, která panel hlídá a automaticky vyhodnocuje. Všechna funkcionality je využitelná skrze klíčenku se čtyřmi tlačítky. Dvě pro přičítání bodů a dvě pro odečítání. Odečítací tlačítka slouží jako možnost opravit operátorovu chybu a software světelného panelu tyto funkce využívá a doplňuje o zálohování celého stavu.

Další segment programu se zabývá automatickou regulací jasu displejů. Používá při tom jako vstup A-D převodník a jako výstup PWM signál, který upravuje poměr doby svícení a nesvícení zobrazovačů a tím nepřímo ovládá jas.

Ovládáním přes mobilní zařízení s operačním systémem Android se zabývá další segment programu. Jak pomocí klíčenky, tak přes aplikaci v telefonu nebo tabletu lze přičítat a odečítat body oběma stranám, tak nastavit sporty. Výsadou ovládání přes mobilní telefon je možnost restartu během hry a rovněž možnost změnit hru při zapnuté světelné tabuli. Další důležitou funkcionalitou mobilní aplikace je změna ovládání jasu z manuálního na automaticky a zpět a rovněž možnost nastavovat ručně jas displejů v manuálním režimu ovládání.

Celý původní koncept práce byl obohacen o bloky, které jej rozšiřují a dávají mu funkcionalitu navíc. Blok Bluetooth komunikace a blok automatické regulace jasu jsou bezpochyby nadstavbou, které nebude ve většině případů běžného provozu využito naplno. Díky modularitě lze tyto moduly z tabule odebrat, zaměnit za jiné, popřípadě upravit. Z hlediska elektrotechnické výbavy byly vyčerpány praktické možnosti vylepšení. Kromě možnosti zefektivnění programu a polemikou nad mechanickou částí, se jeví možnost přidávání dalších funkcí do této práce jako lichá a v rozporu vzhledem ke konceptu světelné tabule, která má být maximálně jednoduchou, mobilní, efektivní a levnou.

Systém elektronického informačního displeje byl odladěn na nepájivých polích, jednotlivé bloky odzkoušeny a nachystány pro potenciální výrobu celého prototypu světelné tabule.

## **Shrnutí**

Seznámil jsem se s problematikou světla, osvětlení, fyziologií a viděním lidského oka, informačních displejů, jejich topologií a konstrukcí stavby.

Navrhl a realizoval jsem soustavy informačního displeje, komunikačního a aplikačního programového vybavení pro vzdálenou správu.

Sestavil jsem soustavu informačního displeje. Realizoval jsem měřicí systém experimentu a realizoval jsem experiment prokazující pokročilé vlastnosti a funkčnost systému.

## Použitá literatura

- [1] FUJITSU. [i]Fundamentals of Liquid Crystal Displays – How They Work and What They Do.[/i] Fujitsu Microelectronics America, Inc., c2006. Dostupné z: <http://us.fujitsu.com/micro>
- [2] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ.[i] Fyziologie oka a vidění.[/i] 1. vyd. Praha: Grada, 2004, 93 s., [8] s. obr. příl. ISBN 80-247-0786-1
- [3] MATOUŠEK, David. [i]C pro mikrokontroléry Atmel AT89S52.[/i] 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2007, 239 s. ISBN 978-80-7300-215-9
- [4] ALLEN, Scott. Mental\_floss. A, Sc. [online]. [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://mentalfloss.com/article/24976/100-years-scoreboard-watching>
- [5] Scoreboard. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Scoreboard>
- [6] E-light. [online]. [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://www.e-light.cz/zprava/srovnani-uspornosti-neuspornych-uspornych-svetelnych-zdroju/>
- [7] Vidite. [online]. [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://vidite.cz/reference-prodej/>
- [8] CVF. Pravidla volejbalu: 2013-2016. 1. 7. 2013. Anaheim, 2013. Dostupné z: [http://www.cvf.cz/soubory/12357/Pravidla\\_volejbalu-2013-16.pdf](http://www.cvf.cz/soubory/12357/Pravidla_volejbalu-2013-16.pdf)
- [9] Nohejbal: Pravidla nohejbalu. [online]. [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.nohejbal.cz/clanky/pravidla-nohejbalu/>
- [10] ČAPEK: Pravidla Petangue. [online]. [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: [http://petanque.cstv.cz/petanque/struc\\_pr.html](http://petanque.cstv.cz/petanque/struc_pr.html)
- [11] KLIMEŠ, František. Moderní zobrazovací jednotky [online]. Praha, 2012, 12.1.2012 [cit. 2014-04-29]. 76 s. Dostupné z: [http://is.bivs.cz/th/19103/bivs\\_b/Klimes\\_Frantisek\\_-\\_Moderni\\_zobrazovaci\\_jednotky.pdf](http://is.bivs.cz/th/19103/bivs_b/Klimes_Frantisek_-_Moderni_zobrazovaci_jednotky.pdf). Bakalářská práce. Bankovní institut vysoká škola, a.s. Vedoucí práce Ing. Bohuslav Růžička, CSc. Oponent práce Ing. Tomáš Melichárek.
- [12] SIEMENS. NPN-Silizium-Fototransistor: technical datasheet. 5 s. Dostupné z: <https://www.gme.cz/img/cache/doc/520/027/sfh309-5-datasheet-1.pdf>

---

## Seznam příloh

Všechny přílohy jsou uloženy na CD

Adresářová struktura přiloženého CD:

- ❖ Experiment 1 – Displeje
  - 1. Část – lesklé pozadí
    - Fotografie z experimentu (.jpg)
    - Obrázky jasové analýzy (.bmp)
  - 2. Část – černé pozadí
    - Obrázky jasové analýzy (.bmp)
- ❖ Katalogové listy
  - Návod na MRX6 vysílač a přijímač (.pdf)
  - Integrované obvody 4511 (.pdf)
- ❖ Plošné spoje
  - BT modul
    - Schéma zapojení (.sch formát z programu EAGLE)
    - Rozvržení desky (.brd formát z programu EAGLE)
    - Fotografie schématu a rozvržení (.png)
  - Ukazatel 6.0
    - Schéma řídicí desky (.sch formát z programu EAGLE)
    - Schéma zobrazovače (.sch formát z programu EAGLE)
    - Rozvržení desky zobrazovače (.brd formát z programu EAGLE)
    - Fotografie schémat a rozvržení (.png)
- ❖ Program
  - Předposlední verze programu
    - main (soubor .c)
  - Původní verze programu
    - New dmp (.txt soubor)
  - Algoritmy (.pdf a .vsd – formát z programu Microsoft Visio)
- ❖ Segment
  - Segment(.bmp.ipt soubor z programu autodesk invertoru)
- ❖ SW pro android
  - Celek (obrázek jpg)
  - Scoreboardcontrol (.apk – aplikace pro Android)
- ❖ Blokové schéma (.pdf .vsd – formát z programu Microsoft Visio)
- ❖ Situační analýza (.pdf)